ISSN 0582—415X

西水研研報
Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst.
(75),1997

JUN 4 1998
N.O.A.A.
U.S. DEPT. OF COMMERCE

BULLETIN OF SEIKAI NATIONAL FISHERIES RESEARCH INSTITUTE

No. 75
December 1997

西海区水産研究所研究報告

第 75 号

西海区水産研究所
長崎市国分町49

平成9年12月

ISSN 0582-415X

西水研研報
Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst.
(75),1997

JAN 4 1998
N.O.A.A.
U.S. DEPT. OF COMMERCE

BULLETIN OF SEIKAI NATIONAL FISHERIES RESEARCH INSTITUTE

No. 75
December 1997

西海区水産研究所研究報告

第 75 号

西海区水産研究所
長崎市国分町 49

平成 9 年 12 月

Characteristics of Flow Field Conditions and its Fluctuations East of the Main Okinawa Island

Kenji Morinaga, Osamu Katoh, Norihisa Nakagawa, Kazuo Abe and Shin-ichiro Kakuma

Bull. Seikai Natl. Fish. Inst., (75), 1–8 (1997)

A system to measure a ship drift continuously with a commercial ship was developed in order to understand the characteristics of both mean flow field conditions and its temporal variations east of the main Okinawa Island, using by a GPS, a gyro compass and an electomagnetic ship speed logger. A table to modify the ship drift data was made reducing the effects of both wind waves and wind–driven lateral drift of the ship.

As a result, it was shown that 1) the data modified by wind speed were mostly equivalent to ADCP data obtained by another observations, 2) for the mean flow field, northeastward flow (0.3 knots) was dominant near the Okinawa Island, however near the Daitoh Islands southwestward flow (0.2 knots) was dominant, 3) mean flow which was obtained on the whole area was northeastward (0.1 knots), 4) several meso–scale eddies moved slowly on the observational line ranged from 0.06 to 0.15 knots in westward propagation velocity.

Key words: western boundary current, meso–scale eddy, ADCP, monitoring system, east of the main Okinawa Island

---

Contamination of Particulate Manganese in the Determination of Dissolved Form

Kazuo Abe

Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst., (75), 9–14 (1997)

An influence of particulate manganese contamination in the determination of dissolved form was examined. Dissolved manganese in both the filtered and unfiltered seawater samples were concentrated by the modified method of Shigematsu et al. (1975) with DDDC (Sodium N, N–Diethyldithiocarbamate Trihydrate) – DIBK (Di–iso–buthyl Keton) prior to the determination by ICP. Determined dissolved manganese for unfiltered samples showed higher values than filtered ones, which indicated the possibility of the contamination to the dissolved form during a solvent extraction step due to the existence of particulate matter. The difference of the obtained concentrations in filtered and unfiltered sample analysis correlated closely with the concentrations of particulate. From the results shown in this paper, as 6.2% of particulate manganese contribute to the overestimate for dissolved form.

Key words: dissolved manganese, solvent extraction, particulate matter, contamination, overestimate

Mn Flux in the Yellow Sea in Summer

Kazuo Abe and Yasunori Watanabe

Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst., (75), 15-22 (1997)

Mn flux was estimated in the Yellow Sea in summer 1993. Sediment traps were moored for 24 in the central part of the Yellow Sea that should be considered as a typical marginal sea. During studied period, stratified condition was maintained and clear picnocline was observed at the depth of 40 m. Below this picnocline, the distribution of particulate matter was considered to be influenced strongly by resuspension from the sea bed (76 m), which caused an overestimation of obtained flux of settling particles. Assuming that the influence of resuspension was minimal above the picnocline (40 m), the effect of resuspension to the real vertical flux was examined. From the results of this experiment, more than 99.9% of observed Mn flux below the well developed picnocline was estimated to be an overestimation derived from the resuspended particles from the sea bed.

Key words: Mn flux, sediment trap, the Yellow Sea, resuspension

Distribution and Size Composition of the Jack Knife Shrimp, *Haliporoides sibogae* (De Man, 1907) on the Continental Slope in the East China Sea

Takeharu Kosuge and Hiroshi Horikawa

Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst., (75), 23-29 (1997)

Bathymetric distribution and size composition of *Haliporoides sibogae* (De Man, 1907) on the continental slope of the East China Sea were examined. Size frequency distributions, including juveniles, were determined based on specimens collected by a beam trawl operated by the research vessel, Yoko-maru, in August 1996. Shrimps were distributed between 340 and 500 m deep, and the bottom water temperature ranged 7.3-11.3℃.

Key words: jack-knife shrimp, *Haliporoides sibogae*, bathymetric distribution, continental slope, the East China Sea

Spawning-Recruitment Relationship of the Largehead Hairtail *Trichiurus japonicus* in the Yellow Sea

Zhenlin Liang and Hideo Otaki

Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst., (75), 31-37 (1997)

In this report, we studies the reproductive relationship of the largehead hairtail, *Trichiurus japonicus* in the Yellow Sea. The yearly indices of number of spawners were obtained from the catch in number by ages from 1959 to 1970, using the sex ratio by age, maturity rate and number of eggs per female by age and year. The spawner-recruitment relationship of largehead hairtail can be represented by the number of 2 age and the spawner in two years ago. The spawners were divided into the group more than 4 age which the original main spawning group and the group of 2 and 3 ages which newly joined spawning because of decrease of population, especially older ages. In the results, although the relationship between the spawner of 2 and 3 ages and the recruitment was not clear, a clear proportional relationship was recognized between the spawner more than 4 age and the recruitment.

Key words: largehead hairtail, spawning-recruitment relationship, the Yellow Sea

The Periodicity in Reproduction of Major Groundfishes in the East China Sea and the Yellow Sea

Zhenlin Liang, Hiroshi Horikawa and Muneharu Tokimura

Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst., (75), 39–44 (1997)

Periodicity found in the reproductive success of the major ground fishes in the East China and Yellow Seas were examined by Japanese pair trawl fisheries' statistics in the 1950's and 1960's. The Ricker or Beverton–Holt type models were well adapted to spawner–recruitment relationships of most species. For the next step, autocorrelation coefficients were calculated for the residuals using the models to examine their periodicity. As a result, clear three to seven years' cyclic fluctuations were found in many species, for example, three and six years' fluctuations for longfin kob (*Atrobucca nibe*) and a six years' one for yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). Species interaction such as predator–prey relationships, competition, or the response of the stocks to heavy exploitation could be the cause of the phenomena, whereas an environmental factor such as water temperature could not be the cause because of its non–periodicity.

Key words: the East China Sea, the Yellow Sea, groundfish, reproduction, periodicity

---

Ovarian Histology of Spawning Japanese Sardines Collected from Waters off Western Kyusyu, Japan, with Emphasis on Postovulatory Follicles and Spawning Intervals (Preliminary Study)

Masanobu Matsuoka

Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst., (75), 45–53 (1997)

Using ovarian histology of spawning specimens of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, collected from the waters off western Kyusyu, Japan, the regressing process of the postovulatory follicles was observed and preliminary estimation of the interval between spawnings undertaken. Forty five female specimens collected by gill net on March 13, 1993 and 60 specimens on March 14, 1993 were examined. Samplings were made between 20 : 00 and 20 : 30, assuming to be during the start of spawning, and some specimens with hydrated eggs which occur immediately before spawning were collected. Three regressing stages of the postovulatory follicles were recognized mainly from changes of the granulosa cells. Regressing stage 0 was considered to correspond to the spawning day, stage 1 to 1 day after spawning, and stage 2 to 2 days after spawning. From the ratio of specimens with hydrated eggs or postovulatory follicles at the regressing stage 0 (spawning day), presumptive example of the average spawning interval of this species was calculated to be from four to six days.

Key words: Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, ovarian histology, postovulatory follicle, spawning interval

Preculturing Conditions for Cryopreservation of Conchocelis of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis*

Eiji Fujiyoshi and Satoshi Umezawa

Bull. Seikai Natl. Res. Inst., (75), 55–59 (1997)

Various preculturing conditions were studied in order to improve the survival rates of conchocelis cells of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis* after freeze–thaw cycle. The preculturing conditions tested were combinations of temperature (6℃ or 18℃), period (1 or 3 days) and with or without cryoprotectant (0.5 M sorbitol, 0.9 M sorbitol or 0.5 M DMSO). The precultured cells were then treated with the cryoprotective solution containing 1.5 M DMSO and 0.5 M sorbitol, cooled at 1℃/min to −45℃ and plunged into liquid nitrogen. After the freeze–thaw cycle, the survival rates of the precultured cells were determined. It was found that preculturing cells with 0.5 M sorbitol, 0.9 M sorbitol or 0.5 M DMSO at 6℃ for 3 days and with 0.5 M sorbitol at 18℃ for 1 day improved the survival rate as much as 20% compared with the cells precultured without cryoprotectant at 18℃.

Key words: porphyra, conchocelis, cryopreservation, preculture

Cryopreservation of Protoplasts Isolated from Thalli of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis*

Eiji Fujiyoshi, Makoto Yamasaki, Masahiro Kobayashi, Satoshi Umezawa and Hitoshi Kito

Bull. Seikai Natl. Fish. Inst., (75), 61–65 (1997)

In order to develop a method for long-term storage, protoplasts isolated from thalli of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis* were frozen using a two–step procedure with an initial slow cooling rate (1℃/min) to −40℃ followed by a rapid cooling rate when samples were plunged into liquid nitrogen. The addition of 0.7 M mannitol as a cryoprotectant and prefreezing treatment were necessary for successful cryopreservation. About 70% of the protoplasts were alive after the freeze–thaw cycle using this method.

Key words: cryopreservation, porphyra, protoplast, conchospore

沖縄島東方における流況変動特性

森永　健司*・加藤　　修*・中川　倫寿*
阿部　和雄**・鹿熊信一郎***

Characteristics of Flow Field Conditions and its Fluctuations East of the Main Okinawa Island

Kenji Morinaga*, Osamu Katoh*, Norihisa Nakagawa*,
Kazuo Abe** and Shinichiro Kakuma***

ABSTRACT

A system was developed in order to observe a ship drift continuously with a commercial ship. This ship ordinary plies by five days between the main Okinawa Island and the Daito Islands where site 380 km distant east from the main Okinawa Island. This system was assembled by a GPS (Global Positioning System), a gyro compass (ship direction) and an electomagnetic ship speed logger. Observation has been carried out since November 1994, to understand the characteristics of both mean flow field conditions and its temporal variations east of the main Okinawa Island. As the drift data obtained by this system have been essentially biased by the effects of both wind waves and wind-driven lateral drift of the ship, a table to modify the ship drift data was made reducing above effects.

As a result, it was shown that 1) the data corrected by forecasted wind speed mostly corresponded to ADCP data obtained by another observations, 2) for the mean flow field, northeastward flow (0.3 knots) was dominant near the main Okinawa Island, however near the Daitoh Islands southwestward flow (0.2 knots) was dominant, 3) mean flow which was obtained on the whole area was northeastward (0.1 knots), 4) several eddies moved slowly on the observational line ranged from 0.06 to 0.15 knots in westward propagation velocity. Above results denote that the flow east of the main Okinawa Island have the important role to the subtropical circulation.

平成９年５月９日受理（Received May 9, 1997）
西海区水産研究所業績第549号（Contribution from Seikai National Fisheries Research Institute, No. 549）
*西海区水産研究所　〒850-0951　長崎市国分町49（Seikai National Fisheries Research Institute, 49 Kokubu-machi, Nagasaki 850-0951, Japan）
**西海区水産研究所石垣支所　〒907-0451　石垣市字桴海大田148-446（Seikai National Fisheries Research Institute Ishigaki Tropical Station, 148-446 Fukai-Ohta, Ishigaki 907-0451, Japan）
***沖縄県水産試験場　〒901-0305　糸満市西崎町１丁目（Okinawa Prefectural Laboratory, 1 Nishizaki, Itoman 901-0305, Japan）

はじめに

黒潮は，台湾と石垣島の間を通って東シナ海に流入することはよく知られている（Nitani, 1972）．一方，最近の黒潮流量の評価に関する議論のなかで，琉球列島弧東側の斜面に沿って北上する順圧的性質を持った西岸境界流の重要性が指摘されている（Yuan *et. al.*, 1994；Sekine and Kutsuwada, 1994）．しかし，その実態および黒潮との関係については十分に解明されていないのが現状である．

さらに，琉球列島弧周辺には，太平洋産クロマグロ（*Thunnus thynnus*）の主産卵場が表層に形成されることがよく知られており水産海洋学的にも重要な海域である．そのため，これら生物の生息環境―特に卵・稚仔輸送に大きな影響を及ぼす流れの実態解明が早急に解決すべき重要な研究課題となっている．

石井ら（1996）は1995年8月25日に，これまで観測例の少なかった沖縄島東方においてADCP，アルゴスブイおよびXBTにより流れおよび水温の水平・鉛直分布を観測した．この観測により沖縄島東方において高気圧性の中規模渦が，流れと水塊の両面から初めて見い出された．この観測結果から沖縄島東方海域では複雑な流況を示すことが分かり，本海域の流況に関する，より詳細な知見が求められている．

以上の背景のもとに，沖縄島東方での海況の把握を目的として，定期船による流況モニタリングを1994年11月より実施した．本研究は流況モニタリングから得られた資料の補正，および石井ら（1996）が行ったADCP調査資料と補正値との比較により補正の妥当性を吟味した上で，沖縄島東方海域の平均的な流況ならびに中短期的な変動特性についての解析・考察を行った．

方法

沖縄島東方約380kmに位置する南・北大東島と沖縄島の那覇間を運航する大東海運株式会社所属〝だいとう〟に，GPS，ジャイロコンパス，対水船速ロガーを組み合わせた偏流計を取り付け，1994年11月より偏流の連続観測（海況変動モニタリング）を実施している．〝だいとう〟は沖縄島よりほぼ真東に延びる航路上を通常5日間で1往復する（Fig. 1）．偏流値は10分間平均値を記録した．解析にあたっては，1994年11月から1996年2月にかけての1年4カ月間の資料を用いた．また，偏流値より流れの情報を抽出するために，後述の方法により風・波浪の影響の除去を行った．

1. 補正を施した偏流値の妥当性

偏流資料より流れの情報を得るため，以下の方法により補正を行った．まず，1往復の間（最大5日間）の流況変化は大きくないと仮定し，沖縄島東方沖合での風の情報と1往復の間に得られた偏流資料との対応を調べた．なお，本報告では沖縄島東方沖合での風の情報としては唯一である気象庁発表の沖縄島東方における風速予報値を用いた．なお，念のため風速予報値と南大東島での最大風速との関係をFig. 2に示す．

さて，風速予報値と測得された偏流との比較の結果，風速予報値と偏流値の船首方向成分との間に正の相関が認められた．風速予報値の増加にともない偏流値が船首方向に偏る傾向が認められたこととなる．この結果から，船首方向の対水船速を計測する対水船速ロガーが，風により生ずる波浪の影響を受けて対水船速値を過小に計測し，結果として対水船速と対地船速との差として算出される偏流値に過小計測された差分が付加され，偏流値が大きく見積もられたものと考えられる．そこで，測得される偏流値の東西方向成分（航路がほぼ東西方向のため船首船尾方向とみなす）を以下の式(1)で表現できると仮定する．

$$Ud = Uf + Ue \qquad (1)$$

ここで東方向を正とし，Ud は得られた偏流値の東西方向成分，Uf は場の流れの東西方向成分，Ue は波浪による誤差とする．往路では $Ue>0$，復路では $Ue<0$ となる．風速予報値に変動がなく，流れにも大きな変動がないと仮定できる1往復間に得られた偏流値より，往・復路各々の全区間平均偏流値の東西成分（航路が東西方向のため船首船尾方向と同一とみなす）

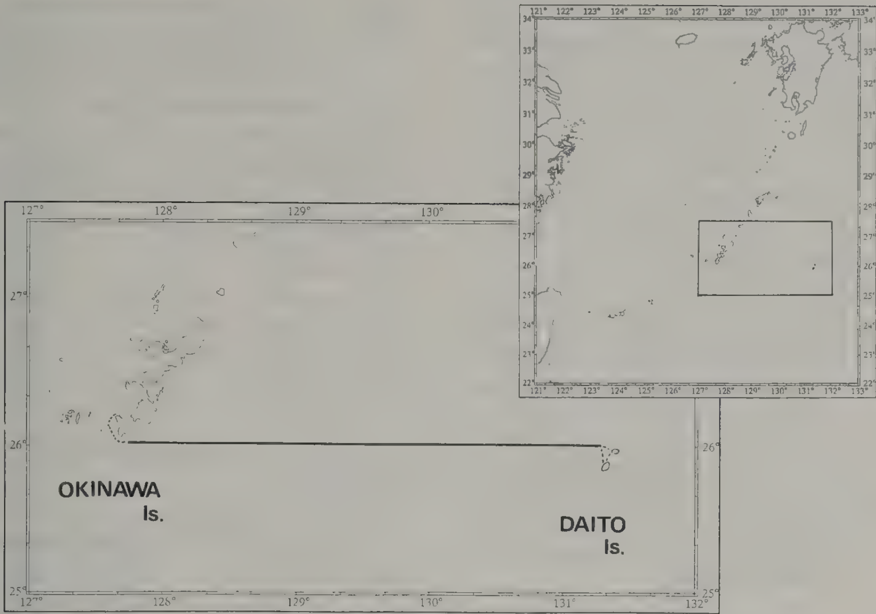


Fig. 1. An observational line carried out the ship drift measurement by the commercial ship "Daito".

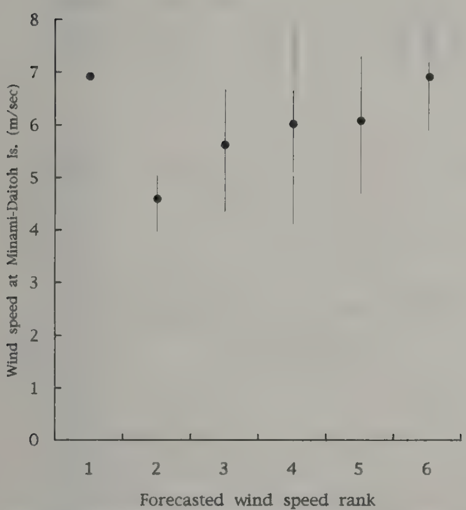


Fig. 2. Relationship between forecasted wind rank east of the main Okinawa Island and wind speed at the Minami Daitoh Island. The error bars are the standard deviations.

の差を求め，得られた値に 1/2 を乗じて Ue を求めた（Fig. 3)．以上の方法により求めた Ue をもとに，各風速予報値毎に平均値を求め，補正値表（Table. 1）を作成し，偏流値より補正値を減じて解析を行なった．さらに，偏流値には風による正横方向（南北方向）の船体ドリフトも加味される．Sugimoto and Kobayashi (1987) は，横風が風速 10m/sec を超えると正横方向の船体ドリフトの影響が無視できなくなるとしている．そこで，測得される偏流値の南北方向成分（航路が東西方向のため正横方向と同一とみなす）を以下の式(2)で表現できるものと仮定する．

$$Vd = Vf + Ve \qquad (2)$$

ここで北方向を正とし，Vd は得られた偏流値の南北方向成分，Vf は場の流れの南北方向成分，Ve は船体ドリフトによる誤差とする．なお北よりの風では $Ve<0$，南よりの風では $Ve<0$ となると仮定する．各予報値毎に北より（NW～NE)，南より（SW～SE）の風での全区間平均偏流値の南北成分の差を求め，

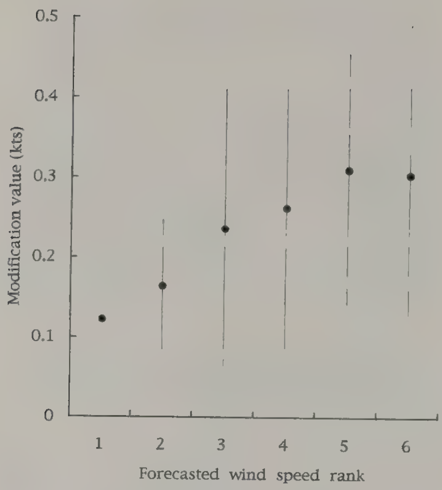


Fig. 3. Relationship between ship drift modification values and forecasted wind rank. The error bars are the standard deviations.

1/2を乗じて Ve を求め，風速予報値に対する正横方向成分の補正値を求めた（Table 1）．Table 1 に示すとおり，風速 10m/sec を超えると正横方向の補正が必要となり Sugimoto and Kobayashi (1987) による結果と一致している．得られた補正値を風上方向に対して付加することにより偏流値の補正を行ない，以後の解析に用いた．

Table 1. Bow–stern component (left) and port–starboard (right) component of ship drift modification values corresponding to the forecasted wind rank by Japanese Meteorological Agency.

Forecasted wind speed rank	Bow–stern component	Port–starboard component
1 (5– 8m/sec)	0.12	0
2 (6– 9m/sec)	0.17	0
3 (7–10m/sec)	0.24	0
4 (7–11m/sec)	0.26	0.01
5 (8–12m/sec)	0.31	0.10
6 (9–13m/sec)	0.31	0.13

次に，補正した偏流値の妥当性を見るために，1995年8月25日に海上保安庁第十一管区海上保安本部により実施された沖縄島東方での ADCP による測流調査結果と，同日に得られた偏流値とを比較した（Fig. 4）．図中の太い矢印が“だいとう”より得られた偏流値であるが，ADCP 測流結果と概ね一致していることが分かる．このことから補正を施した偏流値を用いて流れを把握することには妥当性があると考えられる．

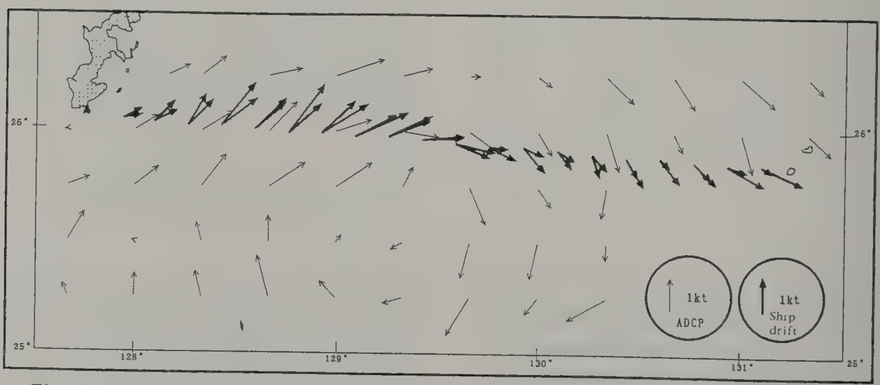


Fig. 4. Ship drift data removed the influences of both wind waves and wind–driven lateral ship drift on 25 August 1995, superimposed on the ADCP data observed by Japanese Maritime Agency on the same date.

2.　沖縄島東方での平均的流況

観測期間中の平均的な流況を解析するにあたり，沖縄島一南・北大東島間を経度30分毎に7つのゾーン（Zone）に区分し，各ゾーン内において得られた偏流の空間的ベクトル平均値の時系列を求めた．各ゾーンで求まった空間的ベクトル平均値の時系列をもとに，各ゾーンでの偏流の時間・空間的ベクトル，スカラー平均値および(3)式で定義される流れの安定度を求めた（Table 2）.

$$\text{流れの安定度}=\overline{\text{V}}/\bar{\text{v}} \quad (3)$$

ここで，$\overline{\text{V}}$ は時間・空間的ベクトル平均値，$\bar{\text{v}}$ は時間・空間的スカラー平均値を示す．さらに各ゾーンで求まった空間的ベクトル平均値の時系列より得られた流向の頻度分布を Fig. 5 に示す．これらの図表に示された結果をもとに沖縄島東方での平均的流況を以下に述べる．沖縄島に最も近いゾーン1から4にかけての海域では北東方向の流れが卓越し，そのベクトル平均流速は0.2～0.4ノットと見積もられた．また流れの安定度はゾーン2で0.6と最も安定度が高く，ゾーン1で0.3と最も低い値を示した．

逆に，ゾーン5～7ではベクトル平均値が0.1～0.2ノットと小さく，特にゾーン6，7では南西方向の流向の頻度が高い．安定度は総じて低く，ゾーン7で0.3の最も高い値を示すにとどまり，沖縄島一南・北大東島間の西側で見られた平均的流況とは大きく異なって

Table 2. Characteristics of ship drift data in the each zone.

Zone	1	2	3	4	5	6	7	Mean Value
Vector Mean								
Direction	43	34	32	44	65	205	233	37
Velocity (kts)	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1
Scalar Mean (kts)	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Stability ratio	0.3	0.6	0.5	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1

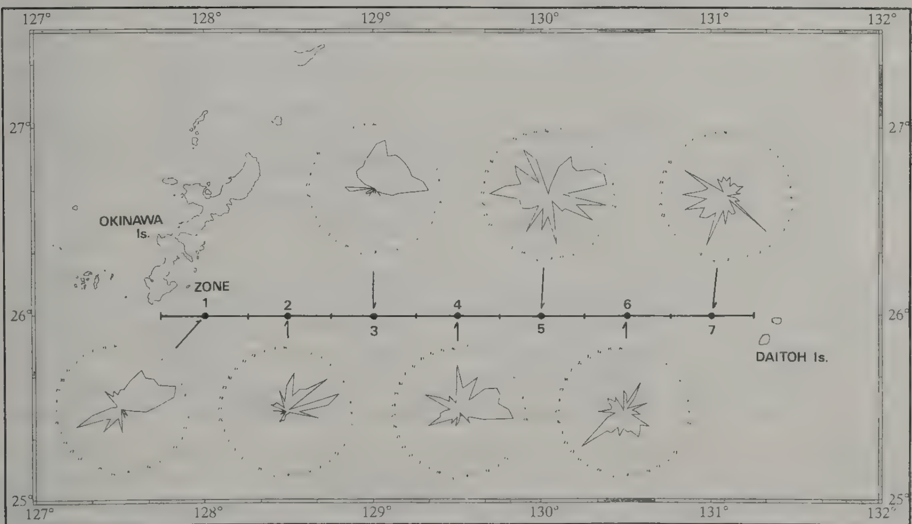


Fig. 5. Frequency distributions of ship drift direction at each zone.

いた．

以上の結果をもとに沖縄島東方の平均的流況について以下に考察する．最近行われている黒潮の流量配分についての議論の中で，沖縄島の東シナ海側を流れる本流の他に沖縄島の太平洋側を北上する流れの存在が指摘されてきた（Yuan *et. al.*, 1994；Sekine and Kutsuwada, 1994）．本報告の結果は，短期的には不安定な流況を示すものの，長期間での平均値を算出すると沖縄島—大東島間のほぼ中央より西側では北東方向，東側では南西方向の流向を示し，西側では流速が東側の2倍程度と見積もられた．この結果より，沖縄島—南・北大東島間全体を平均すると北東方向の流れを示すものと考えられる．すなわち，表層のみの流れではあるものの，本報告の結果は，Yuan *et. al.* (1994) と Sekine and Kutsuwada (1994) が指摘した琉球列島弧東側の斜面に沿って北上する西岸境界流の存在を支持するものである．

3．流況の中短期変動特性

Fig. 4 に示されるような時計回りの渦（高気圧性渦）による流況変動を見るために，全観測期間で得られた偏流値の南北成分の時系列を求め Fig. 6 に示す．高気圧性渦は渦の中心を対称として西側で北，東側で南向きの流れを示す．Fig. 4 で特定された高気圧性渦の移動状況は Fig. 6 中の太線③で示されている．太線③が左上がりの傾向を示すことから，時間の経過とともに西方へ移動したことが分かる．また，これと同様の状況が太線①，②，③，④でも認められることから，観測期間中に少なくとも5個の渦が沖縄島東方に出現したものと推測される．以上のことから，中規模渦が本海域の流況を大きく左右する海洋現象の一つであることが分かった．

さて中短期的な変動は Fig. 4 に示されるような渦の移動により生ずるものと考えられる．上記の渦の伝幡速度から西方への移動速度を推算すると 0.06～0.15ノット（4～8cm/sec）と見積もられた．渦の直径は，石井ら（1996）が実施した XBT による水温観測（400m深水温の水平分布）および ADCP 観測から約200kmと見積もられている．本報告で示した他の渦も，1観測線上での判断ではあるが，Fig. 6 を見る限

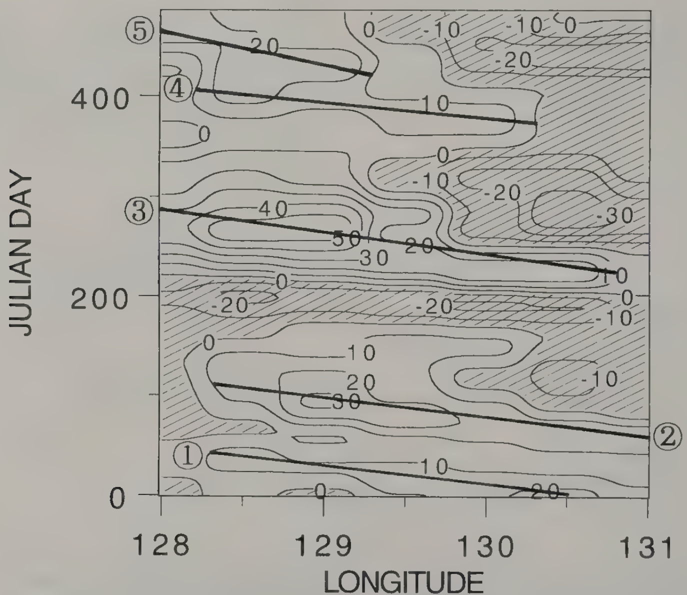


Fig. 6. Isoplate of north-south velocity component of ship drift. Shadow denotes southward value.

り同程度の空間規模を示すことから，概ね同程度の直径を有するものと推察される．さらに，Fig. 6 より渦は少なくとも２カ月間は維持されたことが分かる．すなわち，上記の渦は本観測海域のロスビー変形半径（約1,600km）に比べて十分小さく，かつ無流面（1,000 m）に達するほど鉛直的に十分深い構造を有し，慣性周期に比較して十分な時間維持されるとみなしても問題はない．そこで，上記の渦を非発散ロスビー波（順圧ロスビー波）と仮定して，この分散関係より位相速度を(4)式により求めた．

$$C=\beta/(kx^2+ky^2) \quad (4)$$

ここでＣは位相速度，kx および ky はそれぞれ東西，南北方向の波数を示す．また，βは(5)式により定義される．

$$\beta=2\Omega/R\times\cos\phi \quad (5)$$

ここでΩ，Ｒはそれぞれ地球の自転角速度および半径，ϕは緯度を示す．観測海域は北緯26°に位置することから，本観測海域での非分散ロスビー波の位相速度は西方に0.028ノット（1.4cm/sec）と求まる．本観測により得られた0.06～0.15ノット（4～8cm/sec）に達する渦の伝幡速度は，非分散ロスビー波の位相速度の３～６倍にあたり，本海域の渦の移動をロスビー波の特性のみで説明することは困難であることが分かった．

さらに，沖縄島東方で観測された渦と黒潮続流北側に出現する中規模渦（いわゆる三陸沖暖水塊）とを比較すると，その水平・鉛直的な空間規模はほぼ等しい．しかし黒田（1987）が人工衛星による熱赤外画像を用いて三陸沖暖水塊を追跡した結果によると，暖水塊は 1.4～2.9cm/sec（0.03～0.06ノット）で北東方向へ移動することが分かっている．すなわち，上述の非分散ロスビー波を仮定した理論的考察および三陸沖暖水塊の移動特性とを併せて考えると，渦の移動方向・速度は，渦が形成されている海域のバックグラウンドの流れの場に影響されるものと思われる．今後，渦の移動に関する研究を進展させるためには，より広範囲の流れの場を長期間モニターする必要がある．

お　わ　り　に

本報告では偏流の計測による流況モニタリングより得られた資料を用いたが，将来的には，より詳細な海況の分析を行うため流れを直接的に計測できる ADCP を導入することが望まれる．さらに，並行して調査船による水温・塩分鉛直分布の長期的かつ詳細な資料を得る観測を行うことも必要である．

さいごに，本報告をまとめるにあたりご校閲の労を賜わった西海区水産研究所木谷浩三海洋環境部長に深く感謝するものである．さらに大東海運株式会社の皆様には流況モニタリングシステムの開発，運用に際して多大な助力を賜わった．ここに記して感謝の意を表する．

尚，本研究は科学技術庁海洋開発「黒潮の開発利用調査研究」の一環として行われたことを付記する．

要　　約

沖縄島東方での海況の把握を目的として，沖縄島（那覇）―南・北大東島間を運航する定期船に GPS，ジャイロコンパス，対水船速ロガーを用いた偏流計測システムを設置し，海況変動モニタリングを実施した．偏流値は，風および波浪の影響を除去するための補正値を作成した上で補正を施し解析に用いた．この観測結果（観測期間：１年４カ月）をもとに，観測例の少なかった沖縄島東方海域での海況，中でも平均的な流況ならびに中短期的な変動傾向に関しての考察を行った．その結果，１）補正を施した偏流値は ADCP による観測値と概ね一致すること，２）沖縄島―南・北大東島のほぼ中間を境界として，沖縄島よりでは平均0.3ノットの北東流，反対に大東島よりでは0.2ノットの南西流を示すこと，３）観測域全体では北東方向に0.1ノットの流れを示すこと，４）渦様の流況が数回認められ，これらのパターンの西方向への伝幡速度は0.06～0.15ノットであることが分かった．

文　　献

石井春雄・三宅武冶・西田英男　1996：沖縄東方海域での暖水渦の観測．1996年度日本海洋学会春季大会講演要旨集，53–54．

黒田隆哉　1987：本州東方海域における暖水塊の出現と移動．海洋科学，19(5)，265–374．

Nitani, H. 1972: Beginning of the Kuroshio. in Kuroshio, H. Stommel and K. Yoshida (eds.), Univ. Washington Press, 129–163.

Sekine, Y. and K. Kutsuwada 1994: Seasonal variation in volume transport of the Kuroshio south of Japan. JPO, vol. 24(2), 261–272.

Sugimoto, T. and M. Kobayashi 1987: Current observation system using ship drift and its applications in Kumano-nada and Enshu-nada seas. *J.* Oceanogr. Soc. Japan. 43, 363–376.

Yuan, Y., K. Takano, Z. Pan, J. Su, K. Kawatate, S. Imawaki, H. Yu, H. Chen, H. Ichikawa and S. Umatani 1994: The Kuroshio in the East China Sea and the currents east of the Ryukyu Islands during autumn 1991. La mer, 32, 235–244.

懸濁態マンガンの溶存マンガン定量値に与える影響

阿部　和雄*

Contamination of Particulate Manganese in the Determination of Dissolved Form

Kazuo Abe*

ABSTRACT

An influence of particulate manganese contamination in the determination of dissolved form was examined. Dissolved manganese in both the filtered (through 0.6μm Nuclepore filter) and unfiltered seawater samples were concentrated by the modified method of Shigematsu et al. (1975) with DDDC (Sodium N, N–Diethyldithiocarbamate Trihydrate)—DIBK (Di–iso–buthyl Ketone) prior to the determanation by ICP (Inductively Coupled Argon Plasma Atomic Emission Spectrophotometer). Particulate manganese collected by filtration through 0.6μm Nuclepore filter were classified into two fractions, leachable by 10% acetic acid and residual refractory manganese. Determined dissolved manganese for unfiltered samples showed higher values than filtered ones, which indicated the possibility of the contamination to the dissolved form during a solvent extraction step due to the existence of rarticulate matter. The difference of the obtained concentrations in filtered and unfiltered sample analysis correlated closely with the concentrations of total particulate manganese (the sum of leachable by acetic acid and other residual fractions). From the results shown in this paper, as 6.2% of particulate manganese contribute to the overestimate for dissolved form, so it should be necessary to subtract the contaminated fraction (6.2% of the total particulate manganese) from the obtained dissolved value in order to get a real concentration in the case of using unfiltered sample for the determination of dissolved manganese.

平成９年８月22日受理 (Received August 22, 1997)
西海区水産研究所業績第558号 (Contribution from Seikai National Fisheries Reserch Institute, No. 558)
*西海区水産研究所石垣支所　〒907-0451 沖縄県石垣市字桴海大田148-446 (Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Reserch Institute, 148-446 Fukai–Ohta, Ishigaki 907-0451, Japan)

は じ め に

海洋における微量重金属元素の一つであるマンガンは，周囲の環境の酸化・還元系でその化学形態が支配される元素である．また，生物生産活動にとっては必須の元素の一つと考えられ，その分布は鉄などと共に海域における生産力を支配する要因の一つであると考えられる．海水中の溶存微量重金属の分析は，1970年頃から分析機器の発展とともに急速に進歩し，微量重金属の定量にはイオン交換（例えば Bruland and Franks, 1979），溶媒抽出（例えば Shigematsu et al., 1975），共沈法（例えば Boyle and Edmond, 1977）等による濃縮後，原子吸光分光光度計等により検出を行うのが一般的に行われている．これらの方法により定量を行う際，外洋域においては特に問題はないが，東シナ海沿岸域のように多量の懸濁物を含む海水試料の分析には，濃縮操作時における懸濁態の一部が抽出溶媒等に溶け出すことが想定される．このような場合には定量値を過大に見積もることがあり，その定量方法には特に注意が必要である．本報告では，溶媒抽出操作時において，懸濁態マンガンが溶存マンガンの定量に与える影響について検討を行った．

方 法

溶存マンガンは500mlの海水を Shigematsu et al.（1975）の方法に従い，DDDC（ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム）—DIBK（ジイソブチルケトン）法で溶媒抽出により濃縮を行い定量した．分析法の概略は以下の通りである．試水中で溶存マンガンを DDDC 有機錯体として捕らえ，これを有機溶媒である DIBK で抽出して濃縮を行った．その後分液ロートにより溶液を分離し，DIBK 溶液を直接 ICP（誘導結合プラズマ発光分光光度計）に導入して定量を行った．用いた試薬は全て特級で，マンガンの標準溶液は市販の原子吸光分析用を適便希釈して用いた．なお定量は 0.6μm ヌクレポアーフィルターを用いて濾過したものと，未濾過試料について行った．懸濁態マンガンは 0.6μm ヌクレポアーフィルターにより濾過を行い，濾紙上のものを10％酢酸に2時間浸漬し溶出するもの（酢酸抽出区分）（Kudo et al., 1992），さらにその残渣を硝酸・過塩素酸・フッ酸で高温高圧分解したもの（その他の区分）（乗木ら，1980）について定量した．ここで，酢酸抽出区分は，主に懸濁物粒子の表面に吸着しているマンガン，その他の区分は，酸化状態の比較的進んだ粒状のマンガンを意味する．実験に用いた海水試料は，東シナ海においてゴーフロー採水器を用いて得られたものを用い，採水直後に凍結保存し（−40℃），研究所内の実験室で解凍後実験操作を行った．また，全ての操作は実験室からのマンガンのコンタミネーションを防ぐために，クラス100クリーンベンチ内で行った．定量は日本ジャーレルアッシュ社製 ICAP-575MARKⅡを用いて行った．本分析機器の主な仕様を Table 1 に示したが，クロスフロータイプのネブライザー及びファッセルタイプの石英トーチが標準装備されている．スペクトロ強度の感度及び精度に最も影響を与えるキャリアーガスの流量は，それぞれの区分で最終的に ICP へ導入する溶液について別個に検討し，最適な条件を決定した．なお，スペクトル強度測定では，積分時間を3秒として3回の繰り返しを行った．

実験結果及び考察

東シナ海の4点（Stn. 1：31°29.91′N, 124°59.98′E, Stn. 2：30°22.33′N, 123°59.45′E, Stn. 3：31°14.18′N, 123°03.18′E, Stn. 4：31°29.75′N, 123°00.91′E）において，採取時期を変えて得られた試料を分析し，その結果を Table 2 に示した．溶存マンガンは濾過したもの，及び未濾過のサンプルについて分析を行ったが，これらの結果では，未濾過のものが高い定量値を示した．このことより，溶媒による抽出操作中に懸濁態マンガンの一部が溶媒中に溶出した可能性が示唆される．この結果を懸濁態からの溶出

Table 1. Operational parameters.

Spectrometer	Jarrel-Ash ICAP-575 MARK II
frequency	27.12MHz
output power (max)	2.5kW
Nebulizer	Cross-flow type
Monochrometer	0.75m Zerny-Terner type
grating	1,800grooves/mm
reciprocal linear dispersion	0.79nm/mm
entrance slit width	25μm
exit slit width	25μm
Wave length	257.61nm
Torch	Fassel type, Quartz

Table 2. Results of Mn analysis.

Date	Stn.	Sampling depth, m	Dissolved Mn (filtered), nM	Dissolved Mn (unfiltered), nM	Leachable Mn by Acetic Acid, nM	Residual Particule Mn, nM
May, '92	1	30	3.8	9.7	33.6	13.6
		45	5.2	22.7	159	72.4
Aug., '94	2	41	2.4	3.6	24.3	8.3
		47	2.2	3.3	26.0	11.9
	3	1	5.3	7.2	1.3	1.1
		16	4.8	5.4	0.7	0.5
		26	4.5	6.7	5.8	2.2
		36	6.7	13.7	67.7	32.2
		43	5.3	20.4	158	88.3
Jan., '95	4	1	4.9	7.6	49.3	45.8
		10	3.9	8.6	71.9	38.1
		20	3.3	11.3	95.2	51.7
		30	4.4	13.5	96.1	49.8

と考え，濾過を行ったものと未濾過のもので検出された濃度差と，懸濁態マンガンの濃度との相関性を求めると，酢酸抽出区分では相関係数：$\gamma=0.95$ (Fig. 1)，その他の区分では相関係数：$\gamma=0.88$ (Fig. 2) と相関の高い直線関係を示した．Fig. 1 及び Fig. 2 ともにわずかに正のＹ切片を持つが，これらは実質的意味を持たないものと判断し，ほぼ原点を通る直線関係が得られたと判断した．これらのことにより，有機溶媒による抽出中に，粒子表面に吸着している酢酸抽出区分のマンガン，及びその他の区分の主に酸化状態の進んだマンガンの両方が，溶媒中へ溶出等により混入しているようである．実際には，おのおのの区分の一部が一定の割合で混入するものと考えられるが，用いた試料間で酢酸抽出区分とその他の区分の割合が大きくは異なっていないこともあり，一方の相関のみでこのような結果を導くことも考えられる．つまり，見かけ上両成分共に定量値の過大な評価に貢献しているようであるが，どちらの区分からの貢献が重要であるのかは判断が困難である．そこで近似的な考え方として，全懸濁態マンガンについて検討を試みた (Fig. 3)．この

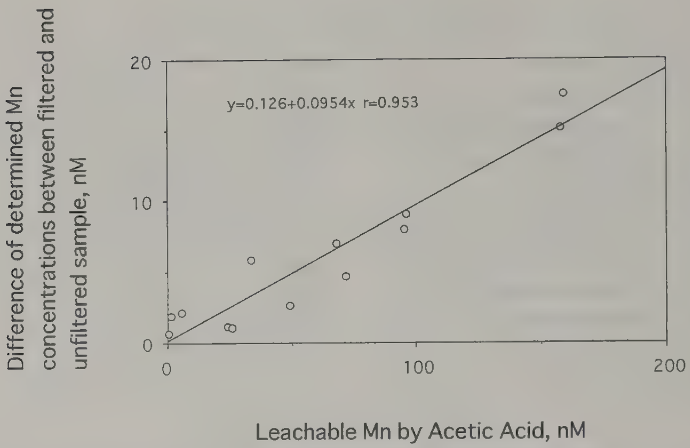


Fig. 1. Relationship between the concentrations of leachable Mn by acetic acid and difference in the determined dissolved concentrations between filtered and unfiltered seawater sample.

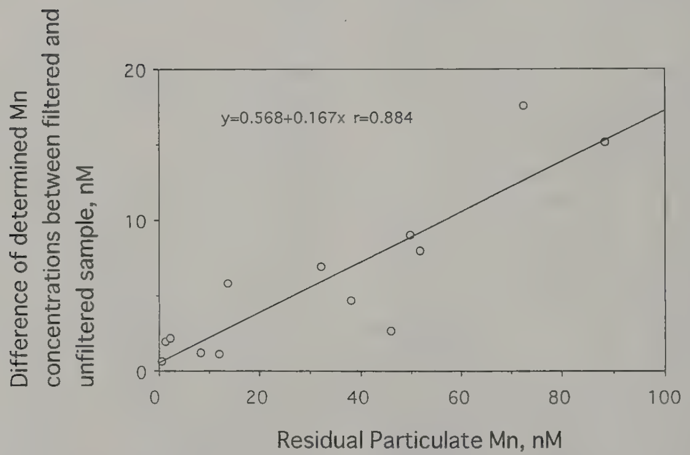


Fig. 2. Relationship between the concentrations of residual particulate Mn and difference in the determined dissolved concentrations between filtered and unfiltered seawater sample.

図は，未濾過海水と濾過海水の定量値の差を全粒状マンガン濃度に対してプロットしたものである．この結果は原点を通る相関の高い直線関係を示し，全懸濁態マンガンをパラメーターとして，未濾過海水を用いて検出された溶存マンガンの定量値を補正することが可能と考えられる．また，この直線の傾きは全懸濁態マンガンの濾過試料と未濾過試料に対する定量値の差に寄与する割合，つまり懸濁態からの抽出溶媒中への混入を示しているものと考えられる．この結果より，懸濁態マンガンの0.0615，つまり6.2%程が溶媒による抽出操作時に溶媒中へ溶けだしたものと判断される．抽出操作時における溶媒中への混入の機構等に関しては

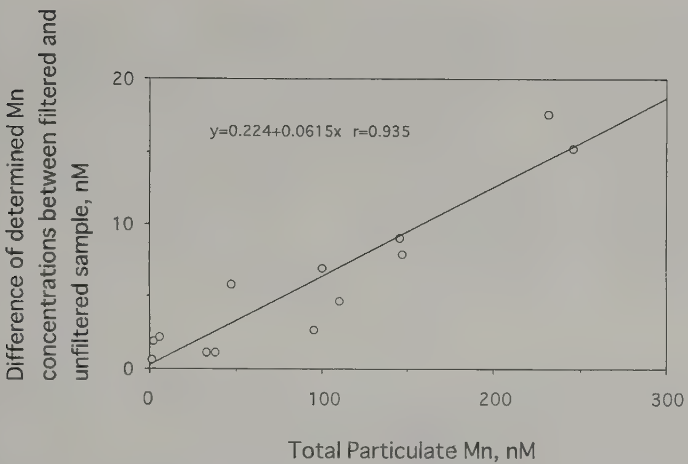


Fig. 3. Relationship between the concentrations of total particulate Mn and difference in the determined dissolved concentrations between filtered and unfiltered seawater sample.

不明ではあるが，この混入の効果は無視できないものと考えられる．実際の定量値の補正には，全懸濁態マンガン濃度に6.2%を乗じて計算された値を，未濾過海水を分析して得られた定量値から差し引くことになる．

以上述べたように，有機溶媒抽出による濃縮操作時に，懸濁態からの混入による寄与のため，溶存マンガンの定量値を過大に見積もる可能性があることを示した．本報告では，未濾過試料を用いて溶存態の測定を行った場合には，全懸濁態濃度の6.2%を得られた分析値から差し引いて値を補正する方法を述べた．しかしながら，この係数は懸濁物の質の違いに大きく左右されることにより，それを用いて定量値を補正する際には個々の海域や季節変動等を考慮して，係数を検討する必要がある．本報告では東シナ海の試料を用いて係数を決定したが，季節変動や細かな地理的な変動を考慮することも必要であり，懸濁物濃度の変動が激しい海域では，本方法が適さない場合も想定される．よって，外洋域のように比較的懸濁物の少ない海域は別として，沿岸域における溶存態の分析には，懸濁物の影響を極力防ぐために，海水を濾過してから分析を行うことが，高い精度を要求される分析には必要と考えられる．最後に，本報告に用いた試料を採取したStn. 3 における濾過，及び未濾過試料に対する溶存マンガンの定量結果を Fig. 4 に示したが，このように大きくそれらの鉛直分布は異なっている．未濾過試

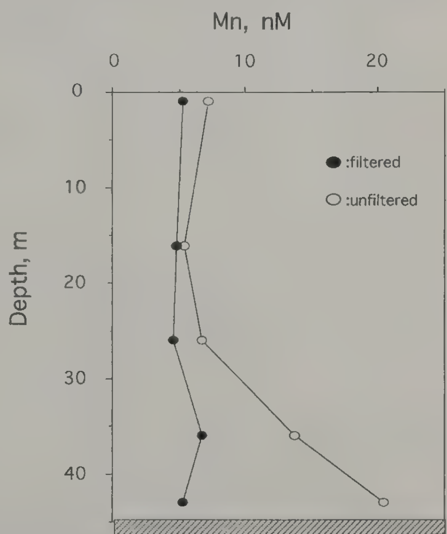


Fig. 4. Determined Mn concentrations for filtered and unfiltered sample at Stn. 3.

料では，海底に近づく程見かけ上濃度が増加し，海底からの溶出を示唆するように見える．Stn. 3 は東シナ海大陸棚上に位置し，調査時には顕著な密度躍層が発達しており，水深約20mを境として二重構造を呈していた．未濾過海水の分析結果では，この躍層下で海底に向かって濃度が増加しているように見えるが，これは濾過試料及び懸濁態マンガンの分布より判断して，躍層下での懸濁物濃度の増加に起因した見かけの濃度増加であると言える．マンガンは堆積物の酸化・還元状態により，間隙水を通して海底から海水中への回帰がしばしば行われる元素である．本報告で示したように，懸濁物濃度が著しく高い海域では，未濾過の海水を分析した場合には，溶存マンガンは見かけの分布を示し，得られる定量値次第ではその解釈にあやまった考察を加える可能性があり，十分な注意が必要と考えられる．

文献

Boyle, E. A. and J. M. Edmond 1977: Determination of copper, nickel, and cadmium in sea water by APDC chelate coprecipitation and flameless atomic absorption spectrometry. Anal. Chim. Acta, 91, 189–197.

Bruland, K. W. and R. P. Franks 1979: Sampling and analytical methods for the determination of copper, cadmium, zinc, and nickel at the nanopgram per liter lenel in sea weater. Anal. Chim. Acta, 105, 233–245.

Kudo, I., T. Ohyama, S. Nakabayashi, K. Kuma, and K. Matsunaga 1992: Behavior and dynamic balance of manganese during spring bloom in Funk Bay, Japan. Mar. Chem., 40, 273–289.

乗木新一郎・中西圭太・府川輝明・植松光夫・内田哲男・角皆静男　1980：テフロン密閉容器を用いた各種海洋科学的試料中の化学分析の定量法．北大水産彙報，34, 351–361.

Shigematsu, T., M. Matsui, O. Fujino, and K. Kinoshita 1975: Determination of manganese in natural waters by atomic absorption spectrometry with a carbon tube atomizer. Anal. Chim. Acta, 76, 329–336.

夏季黄海におけるマンガンの鉛直フラックス

阿部　和雄*・渡辺　康憲**

Mn Flux in the Yellow Sea in Summer

Kazuo Abe* and Yasunori Watanabe**

ABSTRACT

Mn flux was estimated in the Yellow Sea in summer 1993. Sediment traps were moored for 24 hours to collect settling particles for calculation of Mn vertical flux in the central part of the Yellow Sea that should be considered as a typical marginal sea. During studied period, stratified condition was maintained and clear picnocline was observed at the depth of 40 m. Below this picnocline, the distribution of particulate matter was considered to be influenced strongly by resuspension of surface sediment from the sea bed (76 m) to the upper water column, which caused an overestimation of flux of settling particles.

Assuming that the influence of resuspension was minimal above the picnocline (40 m), the effect of resuspension to the real vertical flux was examined. From the resultsl experiment, more than 99.9% of observed Mn flux below the well developed picnocline was estimated to be an overestimation derived from the resuspended particles from the sea bed. Excluding this effect of resuspension, the vertical Mn flux in the Yellow Sea in summer was estimated as 268 nmol/m^{2}day.

は じ め に

近年，セディメントトラップを用いた粒子束（フラックス）に関する研究が多くの研究者により行われ，海洋における物質の除去機構および鉛直輸送機構等の解明が成されつつある．これらの研究は，温室効果問題に係わる炭素循環の解明等，地球環境問題への対応にも大きく貢献していると考えられる．水柱内に一時的に滞留する沈降粒子は，水平移動等の影響も受けるが最終的には鉛直的に輸送される．さらにこれらの粒子は一時的に海底表面に留まり，その後の様々な過程を経て堆積物中へと取り込まれ，海洋以外の循環系へと移行する．

このような沈降粒子を補集する手段としてセディメ

平成9年8月22日受理（Received August 22, 1997）
西海区水産研究所業績第556号（Contribution from Seikai National Fisheries Research Institute, No. 556）
*西海区水産研究所石垣支所　〒907 0451 沖縄県石垣市字桴海大田148 446（Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, 148-446 Fukai-Ohta, Ishigaki 907-0451, Japan）
**西海区水産研究所　〒850-0591 長崎市国分町49（Seikai National Fisheries Research Institute, Kokubu-machi, Nagasaki 850-0951, Japan）

ントトラップを用いる手法が開発されたが，海底付近に設置した場合には，一度海底に達した粒子が再懸濁し再びトラップに補集されることが報告されている(例えば Gardner et al., 1985；Walsh et al., 1988)．このような場合にはなんらかの工夫により，真のフラックスを算定する必要があり，その一例として海底付近における上向きに拡散する粒子を補集する試みがある（竹内ら，1988)．また，沿岸域におけるセディメントトラップ実験では，再懸濁の影響が特に大きいものと考えられ，フラックスの評価には注意が必要である．

本報告では，黄海においてセディメントトラップ実験を行った結果，マンガンフラックスの試算において若干の知見が得られたので報告する．また，本実験では通常の形態のセディメントトラップの他に，開口部を下向きに持つトラップの係留も同時に行い，再懸濁効果の評価を行う試みも行った．

方 法

(1) 調査点および項目

Fig. 1 に示す黄海のほぼ中央部に位置する Stn. A（北緯35°04.16′，東経123°27.41′）において平成５年７月29日から30日にかけて西海水研「陽光丸」により，

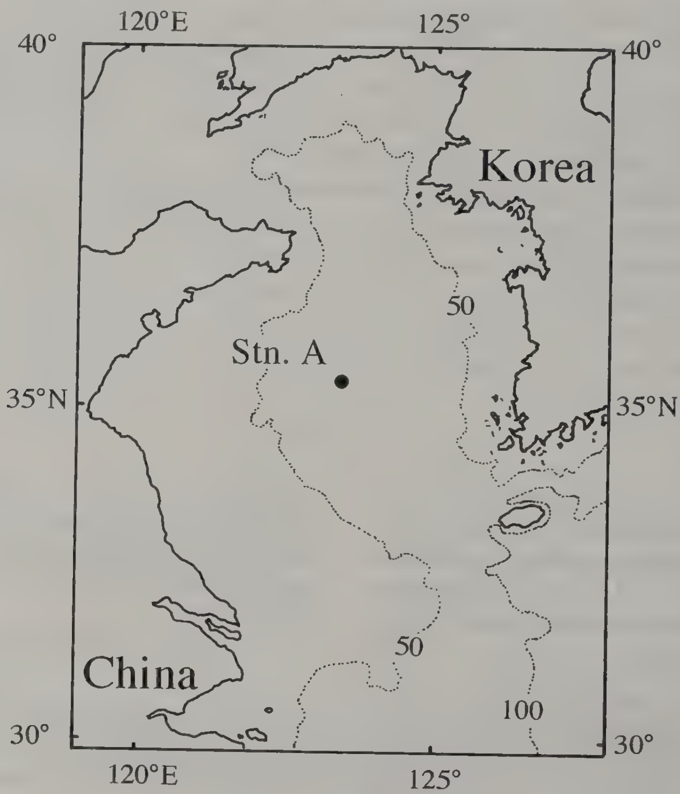


Fig. 1. Sampling station.

Fig. 2 に示すセディメントトラップ（塩ビ製，内径 7 cm，長さ50cm）を用い，24時間の係留実験を行った．最下層では下部に開口部を持つトラップも設置し，上向きの粒子の補集を試みた．また，トラップの係留に際してはホルマリン等の防腐剤は使用しなかった．溶存マンガン分析用の試水はゴーフロー採水器で鉛直的に採水し，酸洗浄したポリエチレン瓶に移し，さらにポリエチレン袋に包んで直ちに凍結保存した（−40℃）．研究所内の実験室において解凍後分析操作を行った．また，懸濁態マンガン，チタンおよびカルシウム分析用の試水は同様にゴーフロー採水器により採水し，船上の実験室において濾過を行い凍結保存した．塩分・水温は CTD により観測を行い，塩分値はサリノメーター（オートラブ社 MODEL601 MK-Ⅵ）を用いて補正した．

(2) マンガン，チタン及びカルシウム分析

溶存マンガン分析は，分析操作中のコンタミネーションを極力避ける目的で未濾過海水を用いて行った．500mlの海水を Shigematu et al. (1975) の方法を改良した DDTC（ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム）—DIBK（ジイソブチルケトン）法で溶媒抽出により濃縮し，DIBK 溶液を直接 ICP（高周波プラズマ発光分光光度計）に導入して定量を行った．抽出操作中，懸濁態マンガンからの混入が6.2%程度確認されたため（未発表），後に述べる全懸濁態マンガン濃度の値を用いてこの区分を補正した．懸濁態マンガンは 0.6μm ヌクレポアーフィルターで試水を濾過し，濾紙上のものを10%酢酸に 2 時間浸漬して溶出するもの（酢酸抽出区分）(Kudo et al., 1992) と，さらに残渣を硝酸，過塩素酸，フッ酸を用いテフロンボム内で

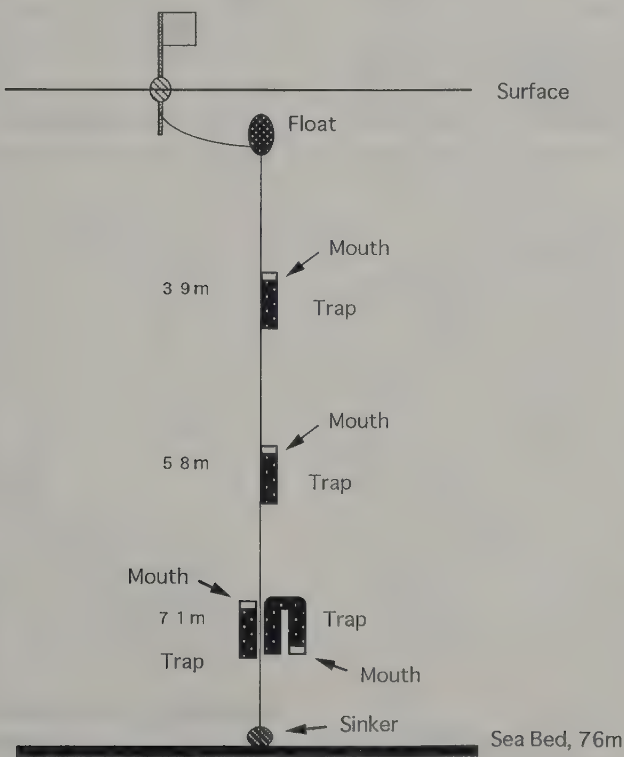


Fig. 2. Mooring configuration.

高温高圧分解（乗木ら，1980）した区分（その他の区分）について定量した．さらに，マンガンの挙動の解釈の補足データとして懸濁態のカルシウムおよびチタンの分析を行ったが，これらはマンガン分析に用いたものと同じ試料から，それぞれ酢酸抽出区分，その他残渣の区分中の分析を行った．この二成分は，それぞれ定量を行った以外の区分には全く検出されなかったため，カルシウムに関しては酢酸抽出区分を全懸濁態カルシウム，チタンは残渣区分を全懸濁態チタンとした．セディメントトラップで補集した試料は 0.6μm ヌクレポアーフィルター上に集め，60℃にて乾燥を行った後に全フラックスを定量し，その一部でマンガン，カルシウムの定量を行った．分析方法は懸濁態に準じて行った．すべての定量操作は日本ジャーレルアッシュ ICAP-575MARKⅡ を用いて行った．実験室内での操作は室内空気からのコンタミネーションを防ぐため，クラス100クリーンベンチ内で行った．分析精度は溶存，酢酸抽出区分，その他の懸濁態マンガンでそれぞれ 10nM レベルで4.0%，18nM レベルで4.1%，8.7nM レベルで8.6%程度であった．懸濁態チタンは 11nM レベルで8.0%であった．また，粒状マンガンでは酢酸抽出区分，その他の懸濁態でそれぞれ 1.4mg/g レベルで4.9%，4.0mg/g レベルで7.6%程度であった．カルシウムについては特に精度は求めていないが，この元素は一般に重金属元素よりも発光分析において高感度である点，また海洋における濃度が重金属よりも高いこと，さらに一連の分析操作（ICP による検出を含む）におけるブランク値は完全にゼロであり，充分な高精度を有しているものと判断される．

結　　果

Fig. 3 に Stn. A における塩分，水温，さらにこれらの値から計算された密度の鉛直分布を示した．塩分は，表層で32.2程度で深度増加に伴って値が高まる傾向であり，40m付近に塩分躍層が認められた．水温は深度が増すに従って低くなり，10m付近に大きな水温躍層が観測された．さらに，密度の鉛直分布では，10mおよび40m付近に密度躍層が現れ，これらの躍層を挟んで三つの水系が存在するものと判断される．Fig.

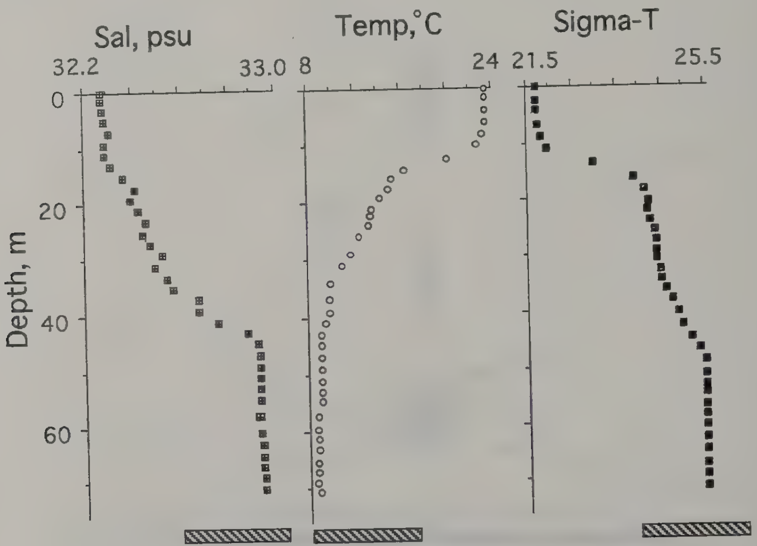


Fig. 3. Salinity, temperature and sigma-t distributions.

4 に海水中のマンガンの分析結果を示した．溶存マンガン（D）は測定値に差はあるが，上下方向の顕著な濃度の変化は認められなかった．対照的に懸濁態マンガンは39mまでの採水層ではほとんど検出されず，それ以深では急激な濃度の増加があり，酢酸抽出区分（Le）とその他の懸濁態（Ot）を加え全懸濁態で 32 nM に達した．この懸濁態マンガンの濃度増加は39m付近に存在する密度躍層以深で起こっており，主に海底からの再懸濁に起因しているものと推察される．Fig. 5 に懸濁態チタン及び懸濁態カルシウムの鉛直分布を示したが，40m以深の採水層の濃度が両成分共に急増する傾向を示し，それ以浅と比較するとチタンで約10倍，カルシウムでは2.5倍程度の濃度増加が観測された．これらの成分の躍層の上下における存在比の違いは主に海水中における挙動の違いを反映しているものと考えられる．チタンは生物活動の影響をほとんど受けておらず，表層に於ける粒状チタンの生産は無視できるものと考えられるが，粒状カルシウムでは表層付近で炭酸カルシウムの殻を持つ生物（例えばココリスや有孔虫等）の増殖により，海水中からの生成（粒子化）が影響を与えているものと考えられる．これらの鉛直分布より，39m以深では急激に懸濁態成分の濃度増加が観測されることが判明し，このことより再懸濁の効果は39mよりも深い層で顕著であり，これより浅い深度においてはその効果は少ないものと考えられる．

セディメントトラップ実験の結果（全粒子，全マンガン，カルシウムフラックス）を Table 1 に示した．なお，括弧内に補集された粒子内の濃度を示した．マンガンの分析は酢酸抽出区分およびその残渣について行ったが，試料乾燥時などにおける酸化による区分の移行等正確な区分の分離は困難であったと解釈し，これらの分析操作における定量値の合計を全マンガンフラックスとした．また，下向きに開口部を持つトラップのフラックスは定量的な補集はされていないものと判断されるために，本研究では参考値にとどめ，粒子内濃度のみに関して解釈を加えた．通常の上向きに開口部を持つトラップの結果を Fig. 6 に示したが，全

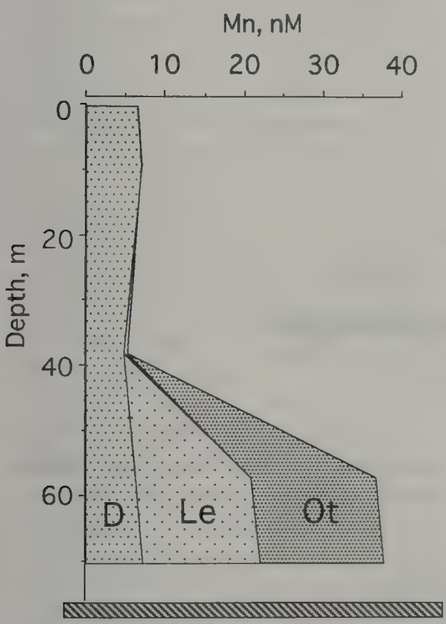


Fig. 4. Vertical profiles of dissolved (D), leachable to acetic acid (Le) and other particulate (Ot) Mn.

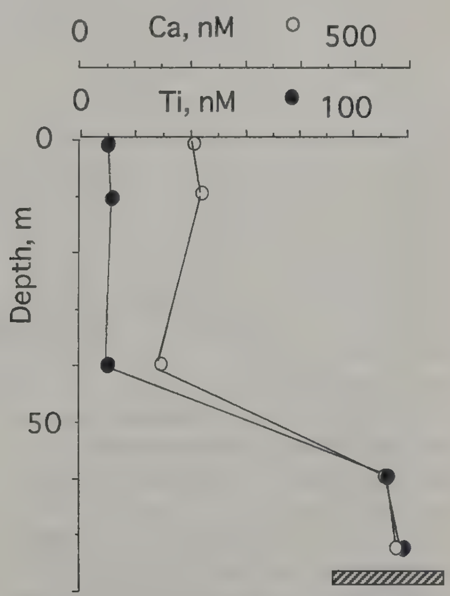


Fig. 5. Vertical profiles of particulate Ca and Ti.

Table 1. Results of a Sediment Trap Experiment in the Yellow Sea. Total, Mn and Ca fluxes are shown, and also concentrations in obtained particles are in parentheses.

Depth, m	Total flux, g/m^{2}day	Mn, mg/m^{2}day (μg/g)	Ca, mg/m^{2}day (mg/g)
39	0.132	0.0145 (110)	10.43 (79.02)
58	10.54	12.1 (1148)	121.3 (11.51)
71	31.21	34.8 (1115)	359.2 (11.15)
71, Downward	2.94	3.08 (1047)	29.55 (10.05)

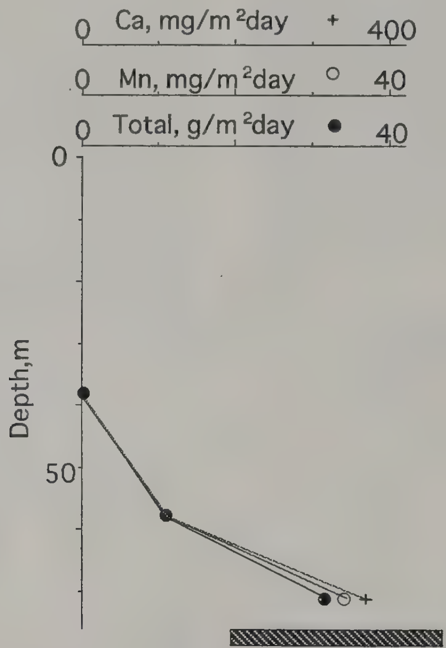


Fig. 6. Obtained flux of total particulate matter, Mn and Ca.

粒子，マンガン，カルシウムともに深度増加に伴う粒子束の増加が観測され，39mと71mに係留したトラップにより得られたフラックスの比はマンガンに関しては2,400倍に達した．つまり，海底に近づく程再懸濁した粒子を再び補集しているものと考えられる．

考　　　察

(1) 全粒子，マンガン及びカルシウムフラックス

39mに係留したトラップでは再懸濁の効果は小さいものと考えられ (Fig. 6)，本報告の論議においてはこの効果は無視することとした．58mおよび71mに係留

したトラップでは，鉛直的に沈降する粒子および一度海底へ到達し，その後再懸濁により舞い上がった粒子の両方を補集していることになる．39mにおけるフラックスを鉛直方向の真の値に近いと仮定すると，全粒子フラックスに関して58mでは98.7%，71mでは99.6%が再懸濁粒子を捕らえていることになる．同様にマンガンフラックスでは58mですでに99.9%が再懸濁粒子であり，カルシウムでは58mで91.4%，71mでは97.1%が再懸濁粒子と考えられ，これらの成分による比率の違いは主に粒子の生成機構の違いを反映しているものと考えられる．海水中のマンガン粒子は河川等から供給されるものと，水柱内で懸濁物等に吸着したもの（Chester and Hughes, 1967），さらにバクテリアにより除々に酸化され粒子状となるもの（例えば Sunda and Huntsman, 1987）が考えられる．これに対しカルシウムの挙動は少々異なる．本研究で定量されたカルシウムは10%酢酸溶液中に抽出される粒状態のものであり，その多くが炭酸塩からの溶解であると考えられる．炭酸カルシウムは河川からの供給もあるが，これらの殻を持つココリス等の生物が表層近くで生成する区分が重要であり，このことは本報告中の粒状のカルシウム（炭酸カルシウム）の鉛直分布からも読み取ることができる．Fig. 5 に示されるように，40m付近の密度躍層下で濃度の増加が観測されるが，この躍層をはさんだ平均値の比は3程度であり，全懸濁態マンガンの134とは大きく異なる．本実験海域において炭酸カルシウムの殻を持つような生物による炭酸塩の生成を支持する証拠はないが，いずれにせよ粒状マンガンと比較した場合には，表層における炭酸カルシウムの現存量が鉛直的な輸送に貢献し，その結果トラップで補集される割合はマンガンの場合よりも大きいものと考えられる．

(2) 海底からの再懸濁効果

40m付近の躍層下に設置したトラップには，鉛直的に沈降した粒子及び再懸濁によって海底より巻上がった粒子が補集されていると仮定し，マンガン，カルシウムの粒子内濃度より検証を試みた．ここで，再懸濁粒子は海底からの距離に依存せずその組成が一様であり，さらにこれらの一部のみが本実験で用いた下向きに開口部を持つトラップに補集されたと仮定する．Table 1 に示されるように，躍層直上（39m）に設置したトラップに補集された粒子中のマンガン濃度は，これ以深のものよりも一桁小さくカルシウムは逆に大きい．このことは，躍層の上からは炭酸カルシウムの殻を持つような生物起源の粒子が比較的多く沈降し，躍層以深ではこれを希釈するように陸起源粒子（粘土鉱物等）を多く含むものが再懸濁することを反映している．下向きのフラックスと上向きのフラックス（再懸濁）の混合比により，躍層下（58m，71m）で補集される粒子中の濃度が規定されると考えられるが，トラップに補集された粒子中のカルシウム／マンガン比をとると，下向きのものは9.59，58mと71mのそれぞれのフラックスから39mの値を差し引いて計算すると，それぞれ9.16及び10.00というほぼ同様の値となった．このことより，下向きに開口部を持つトラップが再懸濁粒子の一部を補集し，これらがその後躍層以深において鉛直的なフラックスに貢献するという仮説に大きくは矛盾しないことが示される．躍層直上の39mに設置したトラップではほぼ鉛直的なフラックスを示しており，躍層以深では再懸濁粒子が多く，海底より5m上の71mに設置したトラップでは，全粒子フラックスで99.6%，マンガンでは99.9%以上，カルシウムにおいても97.1%が見かけのフラックスということになる．

(3) マンガンの鉛直フラックス及び平均滞留時間

マンガンの鉛直的なフラックスを39mに設置したトラップで見積ると，0.0145mg/m^2·day（268nmol/m^2·day）となり，ほぼ同じ水深の北海道噴火湾で観測された40mにおけるマンガンフラックス，2mg/m^2·day（Noriki et al., 1985）と比較すると二桁程度小さい値である．39mまでのマンガン（溶存及び粒状態の合計）の現存量（濃度を深度に関して積分した値）をここで得られたフラックスで除して，平均滞留時間の算出を試みた．ここで述べる平均滞留時間とは，現場に留まっている時間ではなく水中のマンガンが酸化等によって除去される際の除去定数の逆数を表している．現場における現存量の 238μmol/m^2 を 268 nmol/m^2·day で除し，888日（2.41年）が本実験海域におけるマンガンの平均滞留時間として求められた．この値は季節的な変動や海水の流動を考慮に入れなければ単純な比較は難しいが，メキシコ沖において表層で求められた1.2年（Martin and Knauer, 1983），5年

(Martin and Knauer, 1984), 1.5〜3.1年 (Martin et al., 1985) と大きく矛盾するものではなく，夏季黄海においては，粒子への吸着・微生物による酸化等ほぼ外洋域と同様の除去機構が作用しているものと考えられる．以上述べたように，海底からの再懸濁の効果が大きな沿岸域におけるマンガンのフラックスを推定した．このような海域では何らかの方法により真のフラックスを算出する必要があるが，今回の実験で用いた開口部を下に持つトラップの使用も一つの手段である可能性が考えられる．しかしながら，このような形状のトラップが補集する粒子の実態が不明なこと，実際の海域では潮流等の海水流動と補集効率の関連性等多くの問題点が残されており，今後の詳細な研究が必要である．

謝 辞

本研究は西海区水産研究所海洋環境部において行われたものであり，原武史元所長以下職員の方々の御援助に感謝致します．試料採取に際しまして，西海区水産研究所陽光丸田辺克元船長はじめ乗組員の方々に感謝致します．

文 献

Chester, R. and M. J. Hughes 1967: A chemical technique for the separation of ferro–manganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments. Chem. Geol., 2, 249–262.

Gardner, W. D., J. B. Southaed and C. D. Hollister 1985: Sedimentation, resuspension and chemistry of particles in the northwest Atlantic. Mar. Geol. 65, 199–242.

Kudo, I., T. Ohyama, S. Nakabayashi, K. Kuma and K. Matsunaga 1992: Behavior and dynamic balance of manganese during spring bloom in Funka Bay, Japan. Mar. Chem., 40, 273–289.

Martin, J. H. and G. A. Knauer 1983: VERTEX: Manganese transport with $CaCO_3$. Deep–Sea Res., 30, 411–425.

Martin, J. H. and G. A. Knauer 1984: VERTEX: manganese transport through oxygen minima. Earth Planet. Sci. Lett., 67, 35–47.

Martin, J. H., Knauer, G. A. and W. W. Broenkow 1985: VERTEX: the lateral transport of manganese in the northeast Pacific. Deep–Sea Res., 32, 1405–1427.

乗木新一郎・中西圭太・府川輝明・植松光夫・内田哲男・角皆静男 1980：テフロン密閉容器を用いた各種海洋科学的試料中の化学成分の定量法．北大水産彙報，34, 354–361.

Noriki, S., N. Ishimori and S. Tsunogai 1985: Regeneration of chemical elements from settling particles collented by sediment trap in Funka Bay, Japan. J. Oceanogr. Soc. Japan, 41, 113–120.

Shigematsu, T., M. Matsui, O. Fujino and K. Kinoshita 1975: Determination of manganese in natural waters by atomic absorption spectrometry with a carbon tube atomizer. Anal. Chim. Acta, 76, 329–336.

Sunda, W. G. and S. A. Huntsman 1987: Microbial oxidation of manganese in a North Carolina estuary. Limnol. Oceanogr., 32, 552–564.

竹内 章・阿部和雄・工藤 勳・戸屋健治・松島寛治・松永勝彦 1988：噴火湾海底から拡散する粒子束．北大水産彙報，39, 27–33.

Walsh, I., K. Fisher, D. Murray and J. Dymond 1988: Evidence for resuspension of rebound particles from near–bottom. Deep–Sea Res., 35, 59–71.

Distribution and Size Composition of the Jack Knife Shrimp, *Haliporoides sibogae* (De Man, 1907) on the Continental Slope in the East China Sea

Takeharu Kosuge* and Hiroshi Horikawa**

ABSTRACT

Bathymetric distribution and size composition of *Haliporoides sibogae* (De Man, 1907) on the continental slope of the East China Sea were examined. Size frequency distributions, including juveniles, were determined based on specimens collected by a beam trawl operated by the research vessel, Yoko-maru, in August 1996. Shrimps were distributed between 340 and 500 m deep, and the bottom water temperature ranged 7.3–11.3℃.

INTRODUCTION

The jack knife shrimp *Haliporoides sibogae* (De Man, 1907) is one of the common penaeid shrimps appearing on the upper bathyal continental slope in the Western Pacific (Miyake, 1982; Baba, *et al.*, 1986). Since it has been caught by trawlers for commercial use, some previous studies have been conducted to elucidate its life history. Bathymetric distribution, seasonal change of size frequency distribution have been studied for populations at Kii-suido Channel, Pacific Coast of Japan (Kuroiwa *et al.*, 1957; Yasuda, 1966; Ueda *et al.*, 1988) and the western offshore of Satsuma Peninsula, Kagoshima Prefecture (Tokudome, 1981). The studies have estimated growth rate and life history patterns, based on specimens captured by fishing vessels. Net mesh size on trawlers is not small enough to record occurrence of juveniles of *H. sibogae*, i.e. those less than 15 mm in carapace length or 60 mm in total length.

Other than in the sites covered by the previous studies, *H. sibogae* has also been recorded in the north-western continental slope of the East China Sea (Takada *et al.*, 1981), but ecological information on this population has not been

Received: 22 July 1997.（平成９年７月22日受理）
Contribution from Seikai National Fisheries Research Institute, No. 559（西海区水産研究所業績第559号）.
*Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, 148-446 Fukai Ohta, Ishigaki, 907-0451, Japan
（小菅丈治，西海区水産研究所石垣支所　〒907-0451　沖縄県石垣市字桴海大田148-446）
**Seikai National Fisheries Research Institute, 49 Kokubu-machi, Nagasaki, 850-0951 Japan（堀川博史，西海区水産研究所　〒850-0951　長崎市国分町49）

provided sufficiently.

Substantial numbers of *H. sibogae* were obtained by the 5th research cruise of Yoko-maru in 1996 which was planned to reveal bathymetric distribution patterns of the benthic community on the continental slope in the East China Sea. Based on the specimens of *H. sibogae* collected, this paper presents fundamental data on habitat, range in depth, and preferred water temperature. Size frequency distribution obtained from the distant collection stations within a short period will be utilized for estimating recruitment season.

METHODS

Beam trawl nets with mesh attached to a steel frame were used. Initially, the net has a beam of 2.0 m in width, but the frame broke during the research cruise, and so another of 1.8 m width was substituted. Mesh size was 8.4 mm for the both nets. In either case, the net was towed by the research vessel Yoko-maru for 20 minutes at a speed of ca. 3 knots. The sampling stations were assigned along three lines across the continental slope in the East China Sea (Fig. 1). On each line, 12 stations were scheduled, i.e. 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600 and 700 m in depth. Not all stations were covered because of the weather conditions and limited time. Water temperature and salinity were measured by CTD system through the water column above the sampling site. The research period was from 2nd to 8th August, 1996.

All of the animals captured by the net were sorted and kept in 10% formalin or 70% ethanol. *Haliporoides sibogae* was identified by its curved and serrated rostrum. Carapace length (CL) was measured using the calipers closest to 0.05 mm between the base of the rostrum and the posterior end of the carapace. Sex was determined by occurrence of petasma, recognizable for those not smaller than 15 mm in CL.

RESULTS

Haliporoides sibogae was collected from the 6 stations, that is, 2 stations from each line (Fig. 2). Depth ranges of habitat on Line A was 400–500 m while those on Lines B and C were 340–414 m. The most abundantly collected site was B350. Only one specimen was captured from B400 (Fig. 3).

As apparent from the Fig. 2, the pattern of decreasing water temperature as the bottom became deeper was identical for the 3 lines. The water temperatures of the sites where *H. sibogae* was collected were in a range of 7.3–8.8℃ for Line A,

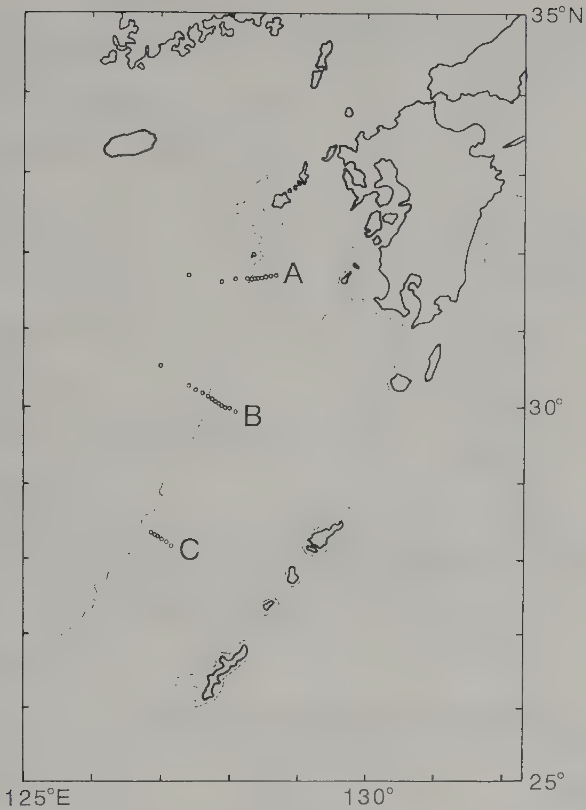


Fig. 1. Map showing positions of the sampling stations (circles) in the East China Sea in the 5th research cruize of Yoko–maru, in August 1996. Dot lines indicate 200 m depth.

9.2–11.1℃ for Line B, and 9.3–11.3℃ for Line C, respectively (Fig. 2). *H. sibogae* existed more at the cooler bottom water on Line A than B and C.

Carapace length distribution of *H. sibogae* is shown in Fig. 4. The largest numbers of individuals were collected from Station B350. For both sexes, this population was mostly composed of the middle sized group, 14–20 mm in CL. Remarkably, junveniles smaller than 14 mm were included in specimens collected from B350. On the stations on Line A, the number of specimens obtained was small but junveniles (<12 mm), middle–sized (14–24 mm) and the large shrimps occurred at Station A400. The minimum and the maximum sizes were 6.5 mm and 32.4 mm in CL, respectively, and both were recorded from A400. From A500, only

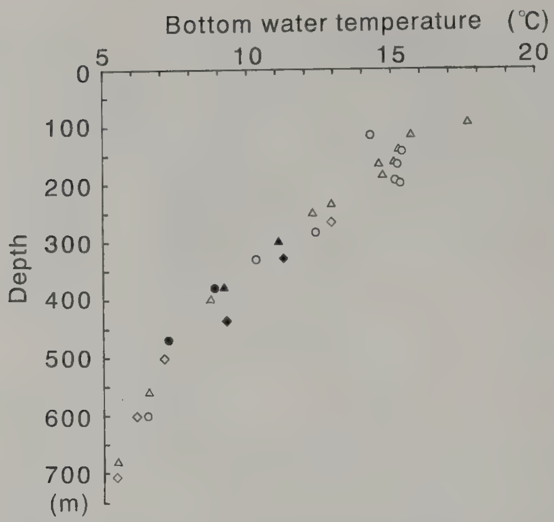


Fig. 2. Relationships between depth and water temperature near the bottom. Cirlces, triangles and diagrams indicate data from Line A, B and C, respectively. Solid marks show the occurrence of *Haliporoides sibogae.*

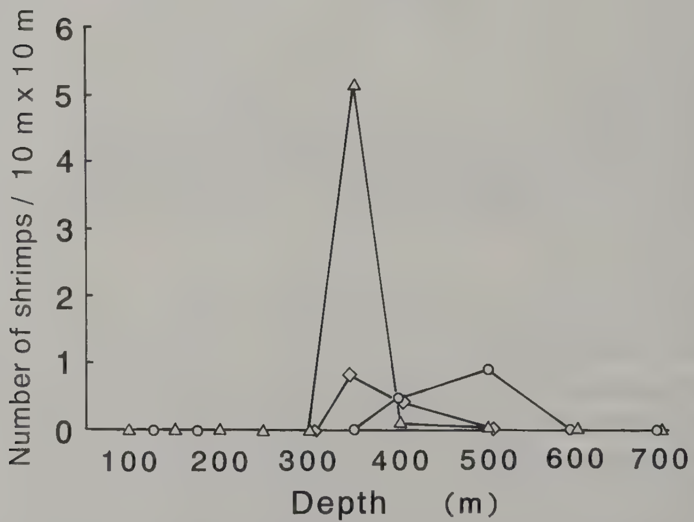


Fig. 3. Bathymetric distribution of *Haliporoides sibogae.* Density of the shrimp was expressed as the number of specimens divided by the area cleared by the nets.

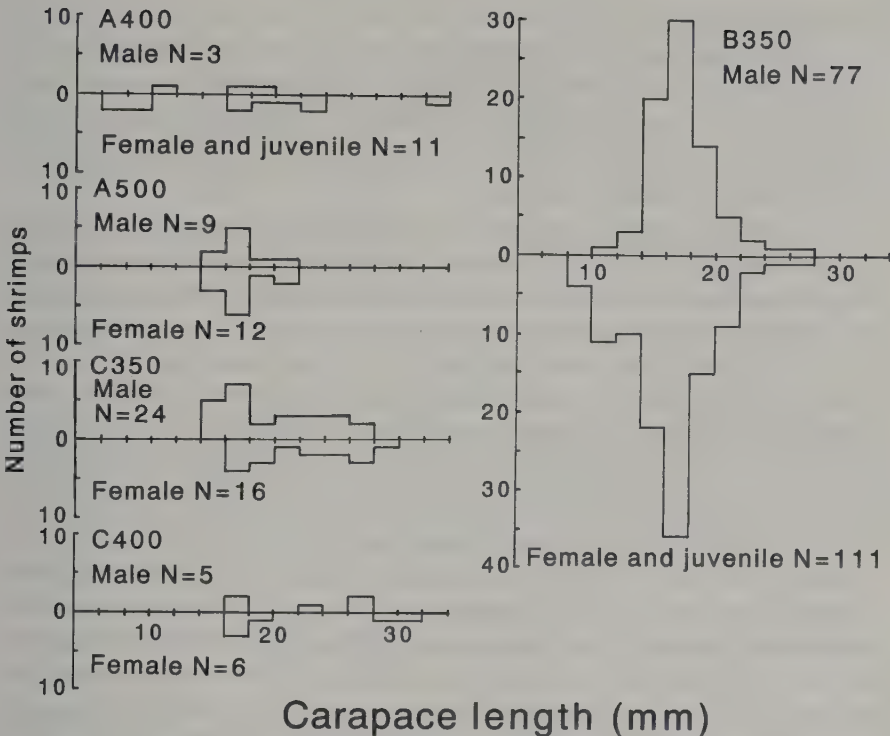


Fig. 4. Size frequency distribution of *Haliporoides sibogae.*

the middle-sized group was collected. Unlike on Lines A and B, no juveniles were collected from Line C. Specimens at C350 composed of the middle-sized and the larger, and those at C400 reflected the same size composition as C350 although the obtained number was small.

DISCUSSION

Bathymetric distribution of *H. sibogae* was recorded by Takada *et al.* (1981) for the population near the Danjo Islands, located near Line A of the present study. They reported that *H. sibogae* occurred between the depths of 335 and 550 m, where bottom water temperatures were 7.0 and 12.5℃. Depth and water temperature ranges correspond with our results. In the present study, *H. sibogae* was not found from 300–350 m deep on Line A. Although this may derive from the limitation of catching ability of small-sized nets; temporal changes in distribution areas could

be also possible.

On the upper bathyal continental slope off Kii-suido, the Pacific Coast of Japan, distribution range of *H. sibogae* is 280–360m in depth, that is, shallower than the East China Sea (Ueda *et al.*, 1988). Bottom water temperature of the habitat is 9–14℃, thus they prefer a warmer area than those in the East China Sea, although the temperatures overlap considerably.

Available information on the season when juveniles of *H. sibogae* was collected is as follows. Off Kii-suido, Anonymous (1953) recorded the occurrence of juveniles (<14 mm CL) in November and January, and Yasuda (1966) recorded those of <14 mm CL in May from the same region, however, Ueda *et al.* (1988) did not collect such small sized shrimps in May, but in the period since October to December. They suggested that this size-group would grow up to ca. 17 mm CL until October. From the area off Satuma Peninsula, small shrimps (<15 mm CL or <60 mm TL) appeared from January to March (Tokudome, 1981). Yamada *et al.* (1997) presented size frequency distribution of *H. sibogae* which were collected, in October 1995, from 326 m off western Fukue Island where not distant from Line A of the present study. Those shrimps 8–16 mm in CL were included in their samples. In the present study, juveniles were collected in August. Thus, these results would suggest that the season of recruitment of *H. sibogae* varies within the East China Sea as well as between it and the Pacific Coast. Recruitment season might not so short but sporadical over several months without exhibiting a distinctive seasonality. Those juveniles which recruited at higher survivership through unknown factors could compose a dominant cohort and this might exhibit apparent seasonality in life history events of each population.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank the staff of the RV Yoko-maru for their kind support during sample collection. We are also grateful to Mr. Y. Ueda for providing valuable information and literature. Thanks are also due to Dr. T. Murai and Dr. M. Murata for their useful comments on the manuscript.

REFERENCES

Anonymous 1953: Shouwa 28-nenndo gyoumu houkoku (Report of the work in 1953). Rep. Aichi Pref. Inst. Fish., 1–15.

Baba, K., K. Hayashi, and M. Toriyama 1986: Decapod crustaceans from continental shelf and slope around Japan. 336 pp., Japan Fisheries Resource Conservation Association, Tokyo.

Kuroiwa, M., J. Tonoya, and Y. Uraguchi 1957: Shinkai-sokobikiami gyogyou shiken (Sampling by deep-water trawlers). Tokushima-suisi Jihou, 1-7.

Miyake, S. 1982: Japanese crustacean decapods and stomatopods in color. Vol. I. Macrura, Anomura and Stomatopoda. 261pp., 56 plates, Hoikusha, Osaka.

Takada, J., T. Tokunaga, M. Suehiro, and M. Tashiro 1981: Distribution of a Penaeid, *Parahaliporus sibogae* in the adjacent water of the Danjo Islands. Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fish., 7, 87-89.

Tokudome, Y. 1981: Gyojo-kaihatsu chosa (Report of the survey for potential fishery area). Bull. Kagosima Pref. Inst. Fish., 1-11.

Toriyama, M. and K. Hayashi 1982: Fauna and distribution of pelagic and benthic shrimps and lobsters in the Tosa Bay exclusive of rocky zone. Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab., 14, 83-105.

Ueda, Y., Y. Jo, K. Nakamura and A. Yuasa 1988: Kii-suido gaiiki ni seisokusuru Higenaga-ebi no shigen-seibutsugakuteki kenkyu (Fisheries biology of *Haliporoides sibogae* (De Man 1907) off Kii-suido area). Nanseigaikai-no Shigen Kaiyo Kenkyu, 4, 41-48.

Yamada, U., T. Kosuge, and K. Yamamoto 1997: Report of the research on demersal fish community and environment on the continental slope of the East China Sea (The 7th cruize of Yoko-maru 1995). Yoko-maru chousa kenkyu houkoku (Report of the research cruises of Yoko-maru in 1995), 20, 68-94.

Yasuda, J. 1966: On the spawning season, appearance season of the young stage, multiplication and protection of deep sea shrimps. Bull. Natural Sci. Soc. Ichimura-gakuen College, 1, 23-35.

東シナ海大陸棚斜面域におけるヒゲナガエビの分布と甲長組成

小菅　丈治・堀川　博史

抄　　録

1996年8月に北緯28°から32°にかけての東シナ海陸棚斜面域においてビームトロールを用いた底生生物の分布深度調査を行った．この際に得られたヒゲナガエビの標本を基に生息深度，底層水温を記載し，甲長組成を求めた．同種は東シナ海の北部から中部にかけての水深340から500mの範囲に広く分布し，生息環境の水温は7.3から11.3℃であった．採集された個体中には甲長14mm以下の小型個体も含まれていた．これまで東シナ海で記録された小型個体の出現時期とはいくらかずれており，着底時期が長いという可能性が示された．

西水研研報　第75号　平成9年12月
Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst., No. 75 December 1997

黄海産タチウオ *Trichiurus japonicus* の再生産関係について

梁　振林*・大滝　英夫**

Spawning–Recruitment Relationship of the Largehead Hairtail *Trichiurus japonicus* in the Yellow Sea

Zhenlin Liang* and Hideo Otaki**

ABSTRACT

In this report, we studies the reproductive relationship of the largehead hairtail, *Trichiurus japonicus* in the Yellow Sea. The yearly indices of number of spawners were obtained from the catch in number by ages in each year from 1959 to 1970, using the sex ratio by age, maturity rate by age and by year, and number of eggs per female by age and year. According to the mesh selectivity of pair–trawl net, the age of first capture was 2 age. The spawner–recruitment relationship of largehead hairtail can be represented by the number of 2 age and the spawner in two years ago. The spawners were divided into the group more than 4 age which the original main spawning group and the group of 2 and 3 ages which newly joined spawning because of decrease of population, especially older ages. In the results, although the relationship between the spawner of 2 and 3 ages and the recruitment was not clear, a clear proportional relationship was recognized between the spawner more than 4 age and the recruitment.

は　じ　め　に

東シナ海・黄海の底魚資源は長い間強度の漁獲にさらされて，ほとんどの魚種が極端に低い資源水準にあるが，その中でタチウオ *Trichiurus japonicus* は比較的資源が保たれていたものの一つである（時村，1993）．しかし，それでもキグチ *Larimichthys polyactis* などの多獲性底魚類の激減に伴い，タチウオに対する漁獲強度が増加することによって，60年代後半には漁獲量が減少傾向に転じ（大滝，1980；三尾ら，1984），さらに年齢組成の若齢化が進み，成熟年齢が早まる（山田，1971）など，タチウオ資源に対する乱獲も目立っている．

海洋生物資源は再生可能な資源であり，その再生産

平成9年6月6日受理（Received June 6, 1997）
西海区水産研究所業績第552号（Contribution from Seikai National Fisheries Research Institute, No. 552）
*西海区水産研究所　〒850-0951　長崎市国分町49（Seikai National Fisheries Research Institute, 49 Kokubu-machi, Nagasaki 850-0951 Japan）
**元西海区水産研究所　〒852-8065　長崎市横尾3-28-3（Present Address : 3-28-3 Yokoo, Nagasaki 852-8065 Japan）

関係は資源の解析および予測において重要であることは言うまでもない．これまで，東シナ海・黄海の主要魚種で，クログチ *Atrobucca nibe*（最首，1968），シログチ *Pennahia argentata*（最首，1968），キグチ（最首，1970），ワニエソ *Saurida wanieso*（最首ら，1970），キダイ *Dentex tumifrons*（最首，1973），マダイ *Pagrus major*（最首，1974）等の再生産関係が明らかにされているが，タチウオについては重要種でありながら，検討されていなかった．本報では黄海産タチウオの再生産関係について検討した．なお，本論文の取りまとめにあたり，当所畑中　寛所長，資源管理部村田　守部長に校閲をしていただき，貴重なご助言をいただいた．ここに記して感謝の意を表す．

材料と方法

用いた資料は1959～1970年のタチウオ黄海系群の年齢組成である．

1．産卵親魚量

まず年々の漁獲物の年齢組成（Table 1）を1959年を基準にした漁獲努力量修正係数（大滝，1978）で補正した．本報告では，この補正した値を資源豊度と仮定した．そして，年齢別の性比，群成熟度，1尾当たりの産卵数を用いて補正して総産卵数を表す指数と言える産卵親魚量を求めた．まず，Fig. 1に示したように，タチウオの体長群別性比（山田，1971）を年齢別計算体長（浜田，1971）で区切り直して，各年齢の体長範囲の中間値にあたる性比（雌の割合）を年齢別性比として求めた（Table 2）．これを漁獲努力量修正係数で補正された年齢組成に乗じて，雌の年齢組成を求めた．さらに，山田（1971）によれば，本種の群成熟度および1尾当たり産卵数は資源量が豊富であった1954～1957年当時に比べ，資源水準が低下した1966～1967年にはいずれも増大している．しかし，両期間の間は調査が行われていなかったため，これらの変化の過程は分からない．ここでは，このような変化は漸進的に起こったものとして，内挿法によって求めた中間年の年齢別群成熟度（PS）と，1968～1970年の2歳群の1尾当たり産卵数を基準にして求めた産卵数補正係数（CE）をTable 3に示した．ただし，年齢別の群成熟度については，1954～1957年のデータにはばらつきが見られるので，これにフリーハンドで滑らかな曲線を当てはめ，計算された値を用いた（Fig. 2）．最後に

Table 1. Catch in number by age of the Yellow Sea population of the largehead hairtail 1959–1970.

	Age					
Year	1	2	3	4	5	6
1959	21662	35759	12005	3641	1302	434
1960	22645	40052	12551	3207	1098	345
1961	26083	43758	12924	3388	1264	422
1962	21955	33832	9609	2875	1139	387
1963	22501	37840	9902	2271	818	268
1964	21214	35056	13072	3182	1158	377
1965	23016	46225	13034	1849	571	176
1966	21697	40381	11673	1721	705	238
1967	13006	53613	24986	1853	366	80
1968	16751	52091	22527	1940	449	109
1969	36913	52114	12461	1688	662	219
1970	24628	36494	8417	1749	762	257

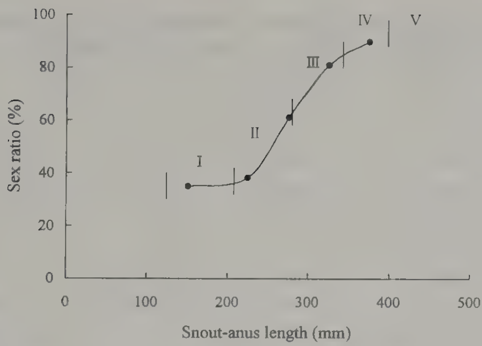


Fig. 1. Change of the sex ratio with snout-anus length (data from Yamada, 1971) and with age.

Table 2. Estimated sex ratio (percentage of females) at age.

Age	1	2	3	4	5	6
Sex ratio	35	50	73	88	95	100

各年の群成熟度と産卵数補正係数を雌の組成にかけて，年々の産卵親魚量を求めた．

2．加入量

東シナ海・黄海の主要な底魚は満1歳でほぼ漁獲に加入してくる（青山，1961）．タチウオの場合には，年級群別年齢別漁獲尾数（Fig. 3）から明らかなように，2歳以上の年齢別漁獲尾数は直線的に減少している．1歳魚の漁獲尾数が2歳魚より少ないのは主に網目選択性に起因するものと思われる．タチウオの1，2歳の計算体長（浜田，1971）はそれぞれ124mmと204mmで，これを東シナ海・黄海で操業する呼称55mm目合底びき網の網目選択性（青山ほか，1959）に照らしてみると，選択率は1歳魚で10%以下，2歳魚で80%以上になる（Fig. 4）．したがって，タチウオの漁獲への加入は2歳からと見て良い．そこで2歳魚を加入量の指標として2年前の産卵親魚量と対応させて，再生産関係を検討することにした．

結　　　果

上述した方法で求めたタチウオの産卵親魚量と加入量の関係をFig. 5に示した．同図を見る限りでは，タチウオの産卵親魚量は1967年まで増え続け，その後逆に激減したが，加入量のほうはこれと関係せずにほぼ年々減っている．50年代では，タチウオの主産卵群はほとんど4歳魚以上で構成され，3歳魚は一部産卵に加わって，2歳魚はほとんど産卵しなかった（三栖，1959）．そこで，本来の主産卵群である4歳以上の親魚と，資源の減少および年齢組成の若齢化によって新規に産卵に加わった2，3歳親魚に分けて考えてみることにした．Fig. 6に示したように，1967年までの2，3歳魚の漁獲尾数（すなわち無修正の漁獲尾数）はほぼ横這いであったが，産卵親魚数（すなわち群成熟度と1尾当たりの産卵数で補正した漁獲尾数）は群成熟度の増加によって年々増え続け，1960年以降は4歳以上群を上回り，産卵群の主体となっている．しかし，1967年以降は漁獲量の激減とともに減少した．こうした2，3歳親魚の大変動と対照的に，4歳以上の親魚数は期間中を通して一方的に減ってきている．ここで4歳以上の親魚および2，3歳親魚のそれぞれと加入量との関係をFig. 7とFig. 8に整理してみた．まずFig. 7についてみると，4歳以上の親魚量（S）と加入量（R）は右から左へほぼ時系列になっており，しかも両者ははっきりした比例関係にある．図中の実線は

Table 3. Estimated percentage of the spawnable females (PS) and coefficient of the number of eggs per female compared to that of 2 age (CE) of 1968–1970.

Year		Age 2	3	4	5	6
1959	PS	19	46	64	75	85
	CE	0.805	1.190	2.210	3.200	3.200
1960	PS	23	48	65	77	87
	CE	0.835	1.285	2.265	3.350	3.350
1961	PS	27	51	67	79	89
	CE	0.860	1.380	2.320	3.500	3.500
1962	PS	31	54	69	81	91
	CE	0.890	1.475	2.380	3.650	3.650
1963	PS	35	57	71	82	93
	CE	0.920	0.565	0.435	3.800	3.800
1964	PS	39	60	73	84	95
	CE	0.945	1.660	2.490	3.950	3.950
1965	PS	43	62	74	86	97
	CE	0.975	1.755	2.545	4.100	4.100
1966	PS	47	65	76	88	99
	CE	1.000	1.850	2.600	4.250	4.250
1967	PS	47	65	76	88	99
	CE	1.000	1.850	2.600	4.250	4.250
1968	PS	47	65	76	88	99
	CE	1.000	1.850	2.600	4.250	4.250
1969	PS	47	65	76	88	99
	CE	1.000	1.850	2.600	4.250	4.250
1970	PS	47	65	76	88	99
	CE	1.000	1.850	2.600	4.250	4.250

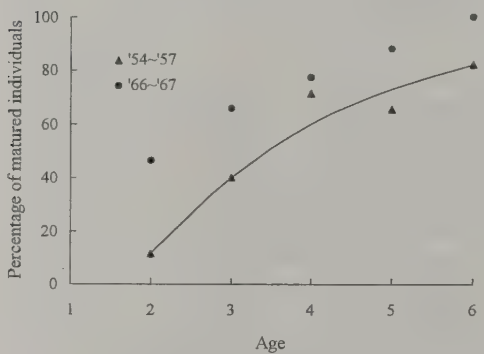


Fig. 2. Change of the percentage of matured individuals (data from Yamada, 1971). The solid line indicates the applied curve for the data of 1954–1957.

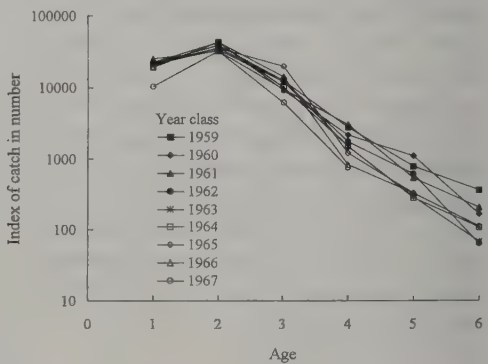


Fig. 3. Catch (expressed by index in number) at age of each year class.

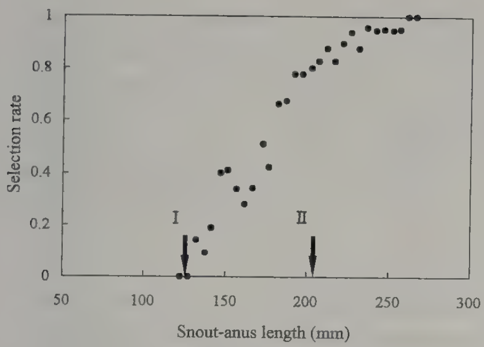


Fig. 4. Mesh selectivity of 55㎜ pair-trawl net (data from Aoyama and Kitashima, 1959). The arrows indicates the snout-anus length of 1 and 2 age.

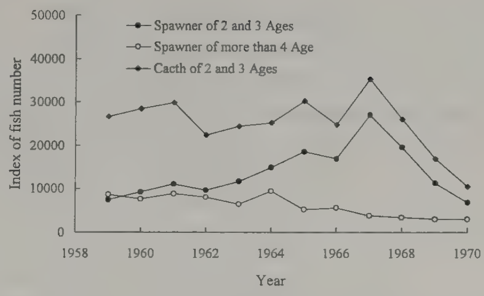


Fig. 6. Yearly change of the number of the spawner and population index (unconverted catch) of the 2 and 3 ages. The solid circles shows the spawners of the 2 and 3 ages, and the open circles shows the spawners of more than 4 age.

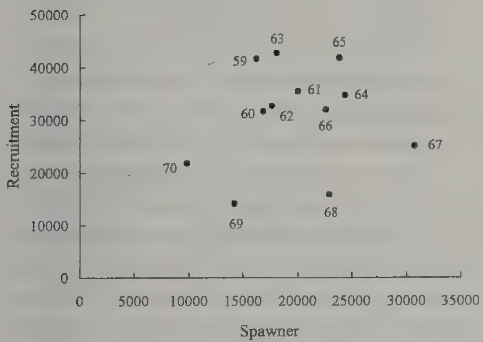


Fig. 5. Relationship between the spawner and recruitment.

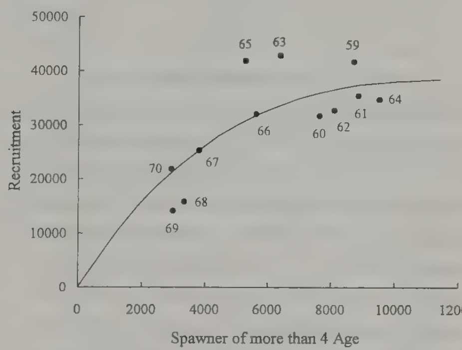


Fig. 7. Relationship between the spawner of more than 4 age and recruitment. The solid line shows the curve of Richer model.

Ricker 型再生産曲線を当てはめたが，親魚量が曲線の右側でさらに増加した場合に，加入量がそのまま一定値を保つのか，それとも減少するのかはこのデータでは判断できない．Ricker 型を当てはめた結果は次の通りである．

$$R=9.368Se^{-8.973\times10^{-5}S}$$

次に Fig. 8 に示したように，2，3 歳親魚と加入量の間は Fig. 5 と同様，はっきりした関係が認められなかった．

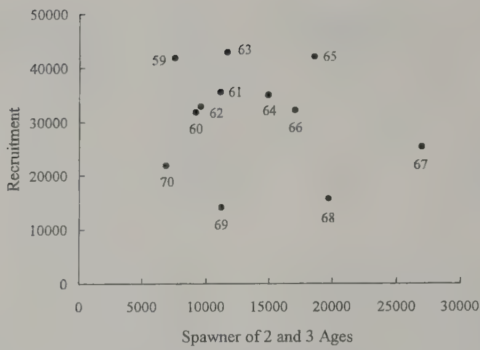


Fig. 8. Relationship between the spawner of 2 and 3 ages and recruitment.

考　　察

1. 1967年における若齢親魚の急増について

Fig. 6では1967年の2，3歳の親魚量が他の年よりかなり大きくなっている．この年前後で漁船の大型化が急激に進み（大滝，1978），とりわけこのときに「ヒモタチ」と呼ばれる小型のタチウオのすり身加工技術が開発され，1967と1968両年，黄海域で特に集中的な漁獲が行われた．しかしその後は，資源の減少に加え，北洋のスケトウダラすり身の進出による潰しものの魚価安のため，漁獲量は激減した．漁獲努力量修正係数では，主に漁船のトン数，馬力および装備などのハード条件について考慮されたが，上記のような選択的な操業は考慮されていなかった．したがって，1967と1968両年の親魚量が過大になっており，同様の理由で1965と1966年の加入量も過大になっているはずである．しかし，このことを考慮しても，Fig. 7とFig. 8に示された親子関係は本質的な変化はないと思われる．

2. 若齢親魚再生産失敗の原因

前述のように，タチウオの加入量は4歳以上の親魚量とは比例関係にあり，2，3歳親魚の多少とは直接結びついていない．つまり，2，3歳親魚は産卵に参加はするが，成功していないのではないかと疑われる．もしそうであれば，2，3歳親魚がなぜ再生産に失敗したか，その原因について考えてみる．前述したように，2，3歳親魚は本来産卵せず，あるいは成長の速い一部の個体が産卵に加わるだけであったが，資源の減少および年齢組成の若齢化によって大量に産卵に加わるようになった．森本（1994）は卵黄体積を卵質の指標として，イワシ類の1回当たり産卵数との関係を調べたところ，1回当たり産卵数が多いほど卵黄体積が大きくなる結果を得た．1回当たり産卵数を魚の体長に読み替えると，大きい個体ほど卵質が良いという結果になる．この結果から推測すると，タチウオの場合も2，3歳親魚は4歳以上の親魚に比べて卵質が悪い可能性がある．次に，山田（1964）によれば，タチウオの産卵期間中に，大型魚が先に成熟して，産卵場に入り，中型以下の親魚は成熟も産卵場入りも大型魚より遅れる．そうすると，高齢親魚より産卵が遅れる中型以下の若齢親魚から生まれた卵は，上述のように卵質が悪いことに加えて，孵化後の稚魚段階でも，餌や生息密度のような環境条件が，高齢親魚から生まれたものより悪くなっている可能性がある．また，タチウオの高齢親魚は産卵期間中に数回も産卵する（王，1963）と言われている．これは2，3歳親魚が再生産に失敗する原因にはならないが，事実であれば，Fig. 6に示されたように2，3歳親魚が主産卵群を形成するのではなく，この期間中に4歳以上の高齢親魚は少なくとも前半で依然として産卵群の主役であって，後半で2，3歳親魚と同レベルになっていた結果になる．

現在，タチウオの黄海系群はほとんど漁場を形成せず，東シナ海系群も4歳以上の高齢魚がきわめて少なく，再生産は80年代から若い2，3歳の親魚によって支えられている（朱，1985）．それでもタチウオ資源はある程度のレベルを維持している．実際に2，3歳親魚の群成熟度及び抱卵数の増加がその後さらに進んだことが明らかになっており（呉・多部田，1995），また2，3歳親魚よりも高齢な産卵親魚が少ないことで，再生産の主役は完全に2，3歳親魚にシフトしたと考えられる．このような主役の交代が本種の再生産関係にどのような影響を及ぼしているのかは今後の研究課題の一つとして興味深い．

文　　献

青山恒雄・北島忠宏　1959：75トン型機船底曳網における55mm目の選択作用．西水研研報，(18)，25-49.

青山恒雄　1961：底びき網の選択作用とその以西底びき網漁業資源管理への応用．西水研研報，(23)，1-63.

王　震亜　1963：海州湾带鱼生殖时期卵巣发育和产卵类型的探讨，中华人民共和国长江水产研究所江苏省水产科学研究所．（三栖　寛訳　1965：海州湾のタチウオに関する生殖時期，卵巣の発育および産卵類型の研究．西水研底魚資源調査研究連絡，No. 35, 24-36).

大滝英夫　1978：以西底びき網漁業における漁獲努力量の標準化について．漁業資源研究会議報，(21)，47-73.

大滝英夫　1980：以西底魚資源．「底魚資源」（青山恒雄編），新水産学全集，10，117-166，恒星社厚生閣，東京．

呉　永平・多部田　修　1995：東シナ海産タチウオ *Trichiurus japonicus* の生物学的特性に関する研究．平成6年度東海・黄海底魚資源管理調査委託事業報告書，28-77，水産庁．

最首光三　1968a：東シナ海産クログチおよびシログチの再生産関係と2種の種間関係について．漁業資源研究会議報，(8)，58-62.

最首光三　1968b：東シナ海産クログチの再生産曲線について．日生態誌，18(1)，32-39.

最首光三　1970：東シナ海産キグチ江蘇群の再生産曲線について．日生態誌，20(1)，31-39.

最首光三・池本麗子　1970：ワニエソ東シナ海群の再生産曲線について．西水研研報，(38)，41-59.

最首光三　1973：東シナ海産レンコダイ資源の再生産曲線について．西水研研報，(43)，1-22.

最首光三　1974：黄海産マダイの再生産曲線について．西水研研報，(44)，27-33.

朱　耀光・姚　联腾・張　汉科　1985：关于福建近海带鱼资源变动的探讨．东海带鱼资源调查，渔情预报和渔业管理论文集，205-214.

時村宗春　1993：以西底引き網漁業資源の資源状態．日本水産学会第34回漁業懇話会報，(34)，1-20.

三尾真一・田川　勝・篠原富美子・山田梅芳　1984：東シナ海・黄海における底魚類の食物関係に基づく群集生態学的研究．西水研研報，(61)，1-221.

三栖　寛　1959：東海・黄海産タチウオ資源の研究．第二報．成熟と産卵について．西水研研報．(16)，21-33.

森本晴之　1994：卵質．「魚類の初期減耗研究」（田中克・渡辺良朗編），水産学シリーズ，98，83-96，恒星社厚生閣，東京．

山田梅芳　1971：東シナ海に生息するタチウオの生殖生態の変化．西水研研報，(41)，63-81.

東シナ海・黄海の主要底魚の再生産関係に見られる周期性について

梁　振林*・堀川　博史*・時村　宗春*

The Periodicity in Reproduction of Major Groundfishes in the East China Sea and the Yellow Sea

Zhenlin Liang*, Hiroshi Horikawa* and Muneharu Tokimura*

ABSTRACT

Periodicity found in the reproductive success of the major ground fishes in the East China and Yellow Seas were examined by Japanese pair trawl fisheries' statistics in the 1950's and 1960's. The Ricker or Beverton–Holt type models were well adapted to spawner–recruitment relationships of most species. For the next step, autocorrelation coefficients were calculated for the residuals using the models to examine their periodicity. As a result, clear three to seven years' cyclic fluctuations were found in many species, for example, three and six years' fluctuations for longfin kob (*Atrobucca nibe*) and a six years' one for yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). Species interaction such as predator–prey relationships, competition, or the response of the stocks to heavy exploitation could be the cause of the phenomena, whereas an environmental factor such as water temperature could not be the cause because of its non–periodicity.

は　じ　め　に

現在，東シナ海・黄海の底魚資源のほとんどは極端に低い水準にある．このように悪化した資源を回復させる手だてを得るために，生態系モデルによる資源解析が求められている．そのためには，まず各魚種の再生産関係を明らかにし，加入量の予測ができるようにする必要がある．東シナ海・黄海の主要底魚の再生産関係はこれまでですでに検討されている（最首，1968a, b；1970；1973；1974；最首・池本，1970；梁・大滝，1997）．ただし，これまでの研究では再生産関係をRicker型としたが，再生産曲線そのものはフリーハンドで描かれていた．また，環境要因と加入量の関係についても検討されたものの，必ずしも明らかになっていない．再生産関係曲線をフリーハンドで描くことの危険性はHilborn（1992）によって指摘されており，人間の恣意性を無くすために，また再生産関係を定量的に扱えるようにするためにも，何らかのモデルに当

平成9年7月4日受理（Received July 4, 1997）
西海区水産研究所業績第553号（Contribution from Seikai National Fisheries Research Institute, No. 553）
*西海区水産研究所　〒850-0951　長崎市国分町49（Seikai National Fisheries Research Institute, 49 Kokubu-machi, Nagasaki 850-0951, Japan）

てはめるのが望ましい．水産生物資源の再生産関係モデルとしては，いままでRicker型（Ricker, 1954）とBeverton–Holt型（Beverton and Holt, 1957）のような密度依存型モデルが提案されている．また，再生産と加入が行われている水域の水温，湧昇流，降雨量などのような環境条件（Penn and Caputi, 1984），種間の競争または捕食—被捕食関係（Walters *et al.*, 1986）などの要因を密度依存型モデルに組み入れる試みもなされている．本研究は東シナ海・黄海の主要底魚の再生産関係をRicker型あるいはBeverton–Holt型モデルに当てはめ，残差を親魚量以外の要因によるものとして，時系列解析を行った．この中で特に残差の中に含まれる周期性について検討した．なお，本論文の取りまとめにあたり，当所畑中　寛所長，資源管理部村田　守部長および浮魚資源生態研究室小西芳信室長に校閲をしていただき，貴重なご助言をいただいた．ここに記して感謝の意を表す．

材 料 と 方 法

用いた資料は最首らが1968〜1974年に公表したキダイ *Dentex tumifrons*（最首，1973），マダイ *Pagrus major* 黄海群（最首，1974），キグチ *Larimichthys polyactis* 江蘇群（最首，1970），クログチ *Atrobucca nibe*（最首，1968b），ワニエソ *Saurida wanieso* 東シナ海群（最首・池本，1970）とシログチ *Pennahia argentata*（最首，1968b）の再生産資料と，前報のタチウオ *Trichiurus japonicus* 黄海群（梁・大滝，1997）の再生産資料である．最首（1973）はキダイを近海群，中南群，大南群との三つのグループに分けて扱っていたが，東シナ海のキダイはすべて一つの魚群集団に属すると思われる（真道，1960）ため，本報ではこれをまとめて取り扱った．

再生産モデルの当てはめ　まず各魚種の親魚量と加入量の関係をRicker型（１式）或いはBeverton–Holt型（２式）モデルに当てはめた．この二つのモデルの違いは，親魚量はある程度以上になると，加入量はほぼ一定になる（Beverton–Holt型）か，それとも最大値を境に減少する（Ricker型）かである．しかし，ここで扱っているデータの中に，必ずしも最大値を持つかどうかが判断できないものもある．そのときにはとりあえずRicker型モデルを用いた．

$$R=\alpha S e^{-\beta S} \tag{1}$$

$$R=\frac{\alpha}{\beta+\frac{1}{S}} \tag{2}$$

式中で，R は加入量，S は産卵親魚量で，α, β はパラメータである．それぞれのモデルに含まれるパラメータの決定には一般最小二乗法を用い，残差平方和の最小化にはMicrosoft Excel*[1] の最適化ツール「ソルバー」を用いた．

残差の解析　各魚種の再生産関係をRicker型或いはBeverton–Holt型に当てはめた後に残差（δ）が残る．この残差を親魚量以外の要因によるものとして，時系列に並べて，その変動を検討した．この変動の検討に当たっては，特に変動の周期性に注目して，時系列データの自己相関係数 $\rho(l)$（$l=0, 1, 2\cdots, L$）を求めた．ここで，L は最大ラグ数である．

結果および考察

再生産モデルの適用結果　各魚種の再生産関係をRicker或いはBeverton–Holt型モデルに適用して推定されたパラメータはTable 1に示し，適用の結果はFig. 1に示した．Fig. 1をみると，キグチとマダイの再生産関係はRicker型とBeverton–Holt型モデルにそれぞれ適合していると言える．それ以外の魚種では，データはすべて曲線の立ち上がりの部分にあるため，どの型になっているかは分からない．こうした魚種に対して，とりあえずRicker型に当てはめたが，全般的にはよく適合した結果が得られた．

---

*[1] Microsoft Excel は Microsoft corporation の登録商標です．

Table 1. Results of estimated parameters in the spawner-recruitment relationship for each species.

Species		Type	α	β
キダイ	*Dentex tumifrons*	R	5.145	3.353×10^{-6}
マダイ	*Pagrus major*	B-H	541.8	5.169×10^{-3}
キグチ	*Larimichthys polyactis*	R	9.211	1.016×10^{-5}
クログチ	*Atrobucca nibe*	R	10.68	9.216×10^{-3}
シログチ	*Pennahia argentata*	R	7.845	1.548×10^{-6}
ワニエソ	*Saurida wanieso*	R	56.42	6.152×10^{-5}
タチウオ	*Trichiurus japonicus*	R	9.348	8.973×10^{-5}

R: Ricker model, B-H: Beverton-Holt model

再生産の周期性　上述の再生産モデルの適用後の残差を魚種ごとに時系列に並べて，Fig. 2に示した．同図に示したように，魚種によって3～7年の周期的変動が見られる．これらの時系列の自己相関係数を計算して，周期を割り出した．Fig. 3に示したクログチの例では，ラグ3，6，9にピークがはっきり見られ，クログチの変動には明瞭な3年周期が含まれていることが分かる．またラグ6における相関係数（0.7077）はラグ3と9のそれ（0.4242と0.5189）よりかなり高いことから，6年を周期とする変動も含まれることになる．同様な方法で得られた各魚種の加入量の変動周期に，各魚種の成熟年齢，寿命と卓越年級群または極端に少なかった年級群が出た年を加えてTable 2に示した．

加入量に周期的な変動があれば，それを引き起こした原因を突き止めることが加入量の予測に言うまでもなく重要である．加入の周期的変動の原因には一般的に環境の周期的変動，種間の捕食—被捕食関係などが考えられている．

まず環境変動についてみると，最首（1968a；1968b）および最首ら（1970）はクログチ，シログチとワニエソの3魚種について，その発生年の発育水域におけるある特定の表面水温帯面積による環境指標と翌年の加入量に，正の相関があるとしている．ここでクログチを例にとって，水温帯面積の時系列の自己相関係数を計算すると，Fig. 4に示すように，確かにラグ3でピークが見られ，Fig. 3と一致する部分はあった．しかし，Fig. 3とFig. 4を比較すると，両者の様式はかなり異なっている．この3種とも，台湾北東端を起点とし北方に向かう黒潮分派と大陸沿岸水が接するフロント域付近を産卵，発育場にしている．このような水域は，一般に水温変化が激しい．したがって，産卵期・発育期における水温環境の年変動も大きいとみられるが，水温環境だけで加入量の周期的変動を説明できるとは思われない．最首（1970）は同様な方法でキグチ江蘇群についても解析したが，通常年では水温帯面積と加入量との間ははっきりした関係が認められない．しかし，1958年級群の卓越は，発育域に異常に広がった14—15℃水温帯と明らかに関係しているとされる（最首，1970）．また，黄海沿岸を主産卵場とする温水性のマダイは卓越年級群が発生した1963年では（Fig. 2），前年の12月ごろから4月まで西日本近海は平年水温より2℃～5℃も低い現象がみられ，その影響が夏まで続き，その範囲も黄海まで及んだ（近藤，1967）．これらのことから，水温などの環境要因は非線形的に魚の再生産に関与している可能性がある．

前述したように，生物の発生量の周期的変動を引き起こすもう一つの要因は捕食である．実際に，陸上動物では捕食—被捕食関係によって動物個体数の周期的変動はよく見られる（菊池，1974）．東シナ海・黄海では，成魚を捕食する海産哺乳類やサメ類が少ないため，捕食圧が主として魚卵，稚仔・幼魚などの生活史の初期段階にかけられていると考えられる．しかし，東シナ海・黄海における魚種間の食物関係に関する研究（田川・篠原，1982；三尾ら，1984）はあるものの，その全貌，特に初期生活史における食う食われるの関係は解明されていない．したがって，こうした再生産関係にみられる周期的な変動と捕食との間の関わりは明らかではない．

ここで，Fig. 2のキダイ，キグチ，ワニエソの例をみると，変動の最初のピークはいずれも卓越年級群

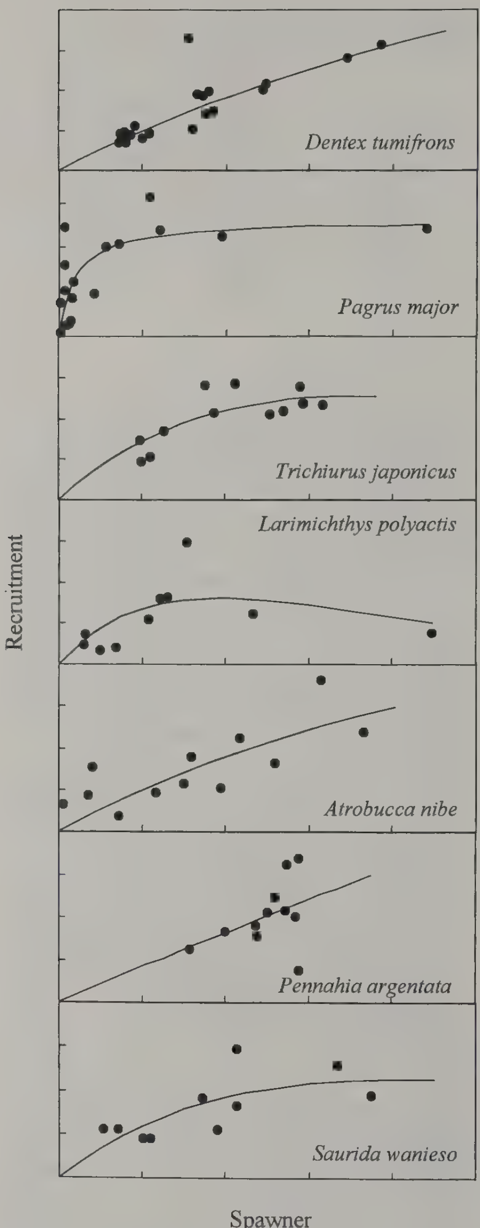


Fig. 1. Results of fitting Ricker or Beverton–Holt curves for each species.

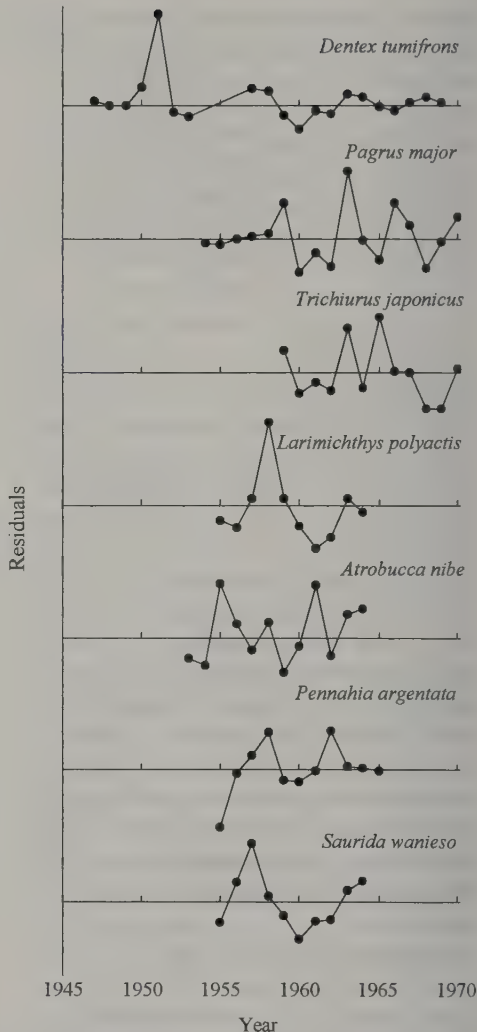


Fig. 2. Residuals of Ricker or Beverton–Holt model fit to each species data.

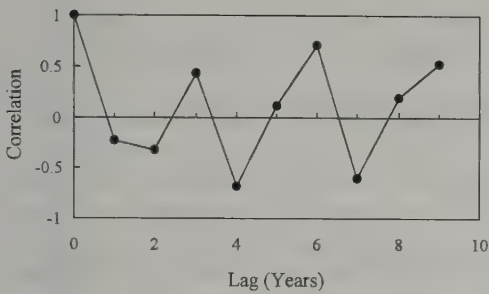


Fig. 3. Auto-correlation coefficient of residual of longfin kob *Atrobucca nibe* data.

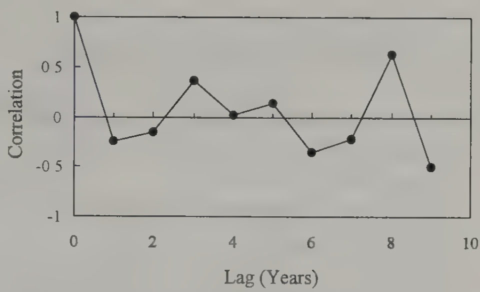


Fig. 4. Auto-correlation coefficient of isothermal area between 23 and 24℃ in the nursery ground of longfin kob *Atrobucca nibe* fry.

Table 2. Periodicity in annual reproduction, age at maturity, life span and dominant year class for each species.

Species		Period (Year)	Maturity age (Age)	Life span (Age)	Dominant year class (Year)
キダイ	*Dentex tumifrons*	6–7	3	9	1951
マダイ	*Pagrus major*	3–4	3	16	1963
キグチ	*Larimichthys polyactis*	6	3	10	1958
クログチ	*Atrobucca nibe*	3,6	3	10	
シログチ	*Pennahia argentata*	4	3	10	1955*
ワニエソ	*Saurida wanieso*	7	3	8	1957
タチウオ	*Trichiurus japonicus*	7	3	9	

*Extremely weak year class

で，その後は減衰していった様子がうかがえる．このことを，Fig. 1 に示された再生産関係が右から左へほぼ時系列になっていることと合わせて考えると，これらの卓越年級群は資源が激減して，これを元に戻そうとする生物増殖のオーバーシュートであり，このオーバーシュートによってその後の周期的変動を引き起こしている可能性も考えられる．また Fig. 2 のマダイの例では，資源が豊富な初期段階ではあまり変動せず，資源が激減した後に変動が始まっている．したがって，これら 4 種の底魚に見られる再生産の周期性は高度な漁獲によって資源を激減させたことに対する生物の応答特性を示唆しているかもしれない．

以上の論議からは，本報で見いだした東シナ海・黄海における主要魚種の再生産に見られる周期的な変動の要因を明確にすることはできなかった．しかし，この周期的な変動は魚種によってかなり明瞭であることから，その原因には限られた要素が関係していると考えられる．それを割り出すためには，海洋の物理，生物環境などに加えて，魚自身の生物的，遺伝的な視点からのアプローチも必要と思われる．

文　献

Beverton, R. J. H. and S. J. Holt 1957: On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest., Ser.* II, 19, 533p.

菊池泰二　1974：動物の種間関係．生態学講座，(13)，77–90，共立出版，東京．

近藤正人　1967：東シナ海における水塊の変動と漁場形成について．冷水塊の水産資源の分布・消長に及ぼす影響に関する研究報告書，水産庁西海区水産研究所，1–38．

梁　振林・大滝英夫 1997：黄海産タチウオ *Trichiurus japonicus* の再生産関係について．西水研研報，(75) 31—37．

三尾真一・田川　勝・篠原富美子・山田梅芳　1984：東シナ海・黄海における底魚類の食物関係に基づく群集生態学的研究．西水研研報，(61)，1–221．

Penn, J. W. And N. Caputi. 1984: Stock recruitment relationships for the tiger prawn, (*Penaeus esculentus*) fishery in Exmouth Gulf, Western Australia, and their implications for management. In "*Second Australia Natural Prawn Seminar*" (Ed. by P. C. Rothlisberg, B. J. Hill and D. J. Staples), 142–166, NPS2, Cleveland, Australia.

Hilborn, R. and C. J. Walters 1992: Quantitative fisheries stock assessment. 266–268, Chapman and Hall, New York.

Ricker, W. E. 1954: Stock and recruitment, *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 11(5), 559–623.

最首光三　1968a：東シナ海産クログチおよびシログチの再生産関係と2種の種間関係について．漁業資源研究会議報，(8)，58–62．

最首光三　1968b：東シナ海産クログチの再生産曲線について．日生態誌，18(1)，32–39．

最首光三　1970：東シナ海産キグチ江蘇群の再生産曲線について．日生態誌，20(1)，31–39．

最首光三　1973：東シナ海産レンコダイ資源の再生産曲線について．西水研研報，(43)，1–22．

最首光三　1974：黄海産マダイの再生産曲線について．西水研研報，(44)，27–33．

最首光三・池本麗子　1970：ワニエソ東シナ海群の再生産曲線について．西水研研報，(38)，41–59．

真道重明　1960：東海におけるレンコダイ資源の研究．西水研研報，(20)，1–198．

田川　勝・篠原富美子　1982：東海産底魚類の生産環境と胃内容物の関係について．昭和56年度漁業資源研究会議西日本底魚部会会議報告，47–56．

Walters, C. J., M. Stocker, A. V. Tyler, and S. J. Wesrheim 1986: Interaction between pacific cod (*Gadus macrocephalus*) and herring (*Clupea harenguas pallasi*) in the Hecate Strait, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 830–837.

九州西海域における産卵期のマイワシ卵巣の組織学的観察，特に排卵後濾胞と産卵周期について（予報）

松岡　正信*

Ovarian Histology of Spawning Japanese Sardines Collected from Waters off Western Kyusyu, Japan, with Emphasis on Postovulatory Follicles and Spawning Intervals (Preliminary Study)

Masanobu Matsuoka*

ABSTRACT

Using ovarian histology of spawning specimens of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, collected from the waters off western Kyusyu, Japan, the regressing process of the postovulatory follicles was observed and preliminary estimation of the interval between spawnings undertaken. Forty five female specimens collected by gill net on March 13, 1993 and 60 specimens on March 14, 1993 were examined. Samplings were made between 20 : 00 and 20 : 30, assuming to be during the start of spawning, and some specimens with hydrated eggs which occur immediately before spawning were collected. Three regressing stages of the postovulatory follicles were recognized mainly from changes of the granulosa cells. Regressing stage 0 was considered to correspond to the spawning day, stage 1 to 1 day after spawning, and stage 2 to 2 days after spawning. From the ratio of specimens with hydrated eggs or postovulatory follicles at the regressing stage 0 (spawning day), presumptive example of the average spawning interval of this species was calculated to be from four to six days.

はじめに

日本産マイワシ *Sardinops melanostictus* は人間の食料，養殖魚や家畜の餌および肥料として重要な魚種であるが，1989年以降その資源量は急激に減少しており，今後の資源動向が極めて注目されている．本種

平成９年12月22日受理（Received December 22, 1997）
西海区水産研究所業績第564号（Contribution from Seikai National Fisheries Research Institute, No. 564）
本報告の一部は1994年４月，日本水産学会春季大会（東京）において発表した．
*西海区水産研究所　〒850-0951　長崎市国分町49（Seikai National Fisheries Research Institute, Kokubu-machi, Nagasaki 850-0951, Japan）

は数十年単位で豊凶を繰り返すことが知られているが（黒田，1991），その資源変動機構の詳細はまだ明らかにされていない．本種の資源研究はかなり以前から行われているにもかかわらず，生物学的知見，特に産卵や発育初期の生態等について多くの不明な点が残されている（松岡・三谷，1989）．従って，その資源変動機構を解明するためには，基礎的な生物学的知見をさらに充実させることが重要であろうと考えられる（松岡ら，1995）．

浮魚類の資源量推定法のひとつに“卵数法”がある．これは産卵調査（卵・稚仔魚の分布様式や分布量を知るための調査）の結果から総産卵量を推定し，これを雌1個体の産卵数および親魚中の雌の占める割合で除して，親魚資源量を推定する方法である（渡部，1983）．マイワシが一産卵期間中に何回産卵するのかという点は，雌1個体の産卵数を知る上で重要なパラメータであり，以前から論議されてきた．この点に関して，石田ら（1959）は卵巣の組織学的検討によって，少なくとも2回，一部は3回以上産卵し，産卵間隔は1週間から2週間以内と推定した．また，Nakai（1962）は卵径組成から年に2～3回産卵すると考えた．一方，宇佐美（1964）は卵径組成を調べた結果，1個体が2地域以上で産卵しないとすれば，1年に1回産卵すると考えるべきであろうとしている．最近では，Matsuura *et al.*（1991）は組織学的研究に基づき，少なくとも2回は産卵するであろうと報告している．また，Murayama *et al.*（1994）も多回産卵魚であることを示唆しているが，実際の産卵回数や産卵周期についての明確な結論は得られていない．

一方，天然産卵群の産卵周期を推定する方法として，排卵後濾胞を用いる方法がある（Hunter and Macewicz, 1985）．これは同じ日に排卵した濾胞を持つ個体の割合から，群としての平均的な産卵周期を求めるものである．このためには排卵後濾胞の組織像の時間的変化を調べる必要があり，これまでにホルモン投与により産卵誘発された日本産マイワシ（白石ら，1990）とペルー産マイワシ *S. sagax*（Goldberg *et al.*, 1984）の報告がある．本研究は，天然海域における日本産マイワシの排卵後濾胞の消失過程と，それから推測される産卵周期（多回産卵魚と仮定した場合）について予備的に検討した．

方　　法

供試魚は，1993年3月13日と14日に西海区水産研究所調査船「陽光丸」によって，天草西沖の近接した2地点（北緯32°26.1′，東経129°33.9′と北緯32°25.9′，東経129°27.0′）（Fig. 1）で，刺網によって採集した．産卵開始時刻（伊東ら，1954；松浦，1992）と思われる20時から20時30分の間，産卵水深（松岡ら，1993）と推定される水深35～40m付近に1反の刺網（目合48㎜，全長50m，網幅10m）を沈降させた結果，3月13日には143個体，14日には250個体が得られた．なお，24時にも採集を試みたが1個体も得られなかった．採集時における4m水深の水温は，13日には18.8℃，14日には17.0℃であった．また，採集地点付近の観測定点における50m水深の水温は17.5℃であった．この他に，1993年4月29日に同様の方法（北緯31°59.6′，東経129°43.6′）で採集された雌4個体も標本として用いた．

得られた標本のうち，3月13日採集群の雌45個体と14日採集群の雌60個体については，体重と被鱗体長（以下体長）を測定後，直ちに卵巣を摘出して10%中性ホルマリン（燐酸水素二ナトリウムおよび燐酸二水素ナトリウムによる）（Hunter, 1985）で固定し，後に組織切片（厚さ 5～7μm，H-E 染色）を作製した．また，固定した卵巣の一部を取り出し，ピンセットで卵細胞を個別に分離した後，実体顕微鏡で観察すると共に写真撮影を行った．雄については凍結保存後，体重，体長および精巣重量を測定した．4月の採集個体についても同様に組織切片を作製した．

結果および考察

採集されたマイワシの雌は体長20～22㎝の個体が大半で，3月13日採集群の GSI（生殖腺重量×100／体



Fig. 1. Sampling sites of the Japanese sardine, represented by asterisks.

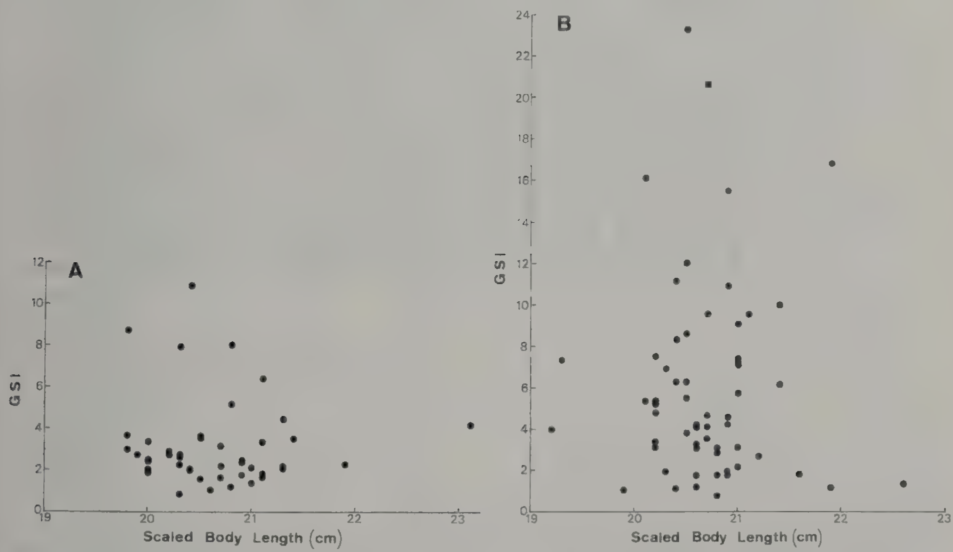


Fig. 2. Relationship between gonadosomatic index (GSI) and scaled body length of the female Japanese sardines. A: sardines collected on March 13, 1993. B: sardines collected on March 14, 1993.

重）は低い値を示す個体が多く，最大でも10.9であった（Fig. 2A）．一方，14日採集群の GSI は全体に高い値を示し，最大は23.4であった（Fig. 2B）．雄の体長は19～21㎝と雌よりやや小さく，GSI は13日および14日採集群とも10未満であった．雌の GSI の違いからみて，13日と14日の採集群は別の群の可能性が高い．4月採集個体の GSI は1.0前後であった．3月に採集された雌の中には排卵直前の吸水卵を持つ個体が含まれており，吸水した卵母細胞は非常に薄い濾胞に包まれていた（Fig. 3A）．排卵後濾胞の組織像は少なくとも以下の3段階が明瞭に識別された．

退行ステージ0：排卵直後の濾胞は薄くて褶曲が多く，広い内腔を持っていた（Fig. 3B）．排卵後やや時間が経過した濾胞（産卵開始時刻から推定して1時間以内）は，容積が小さくなり，褶曲は減少していた．濾胞は厚くなり，内腔はヘマトキシリン陽性の液で満たされていた．濾胞は外側の莢膜層と内側の顆粒層からなり，顆粒細胞は一列に規則的に配列し，その核は丸く，ヘマトキシリンで均一に染色された．空胞はほとんどなく，退行の状態は全く認められなかった（Fig. 3C）．以上のような排卵後濾胞を持つものを当日産卵個体（産卵後0日）とした．Fig. 3D はステージ0の個体の実体顕微鏡像であり，多くの排卵後濾胞が容易に識別された．また，産卵されなかった吸水卵が僅かに残留していた．

退行ステージ1：顆粒細胞の配列に乱れが生じ，所々で寸断された状態となった．顆粒細胞の核に核凝縮が起こり，ヘマトキシリンに濃く染まる部分と薄く染まる部分が認められた．また，空胞も多く検出されるといった退行的特徴が顕著となった（Fig. 3E）．以上のような排卵後濾胞を持つものを産卵後1日の個体とした．実体顕微鏡観察によると，ステージ1の排卵後濾胞はステージ0に比べて小さくなり，数も減少していた（Fig. 3F）．

退行ステージ2：顆粒細胞の吸収がかなり進み，わずかに残るだけとなったのに対し，莢膜層は比較的厚かった（Fig. 3G）．Dickerson *et al.*（1992）はマサバ *Scomber japonicus* において，排卵後48時間の濾胞の莢膜層がかなり厚いことを報告している．このような排卵後濾胞を持つものを産卵後2日の個体とした．ステージ2の排卵後濾胞は非常に小さく，数もさらに減少し，実体顕微鏡ではわずかに認められるだけとなった（Fig. 3H）．

この他にも，さらに退行した排卵後濾胞ではないかと思われる組織像も観察されたが，β段階の閉鎖濾胞（卵母細胞の再吸収の完了後で，変形した顆粒細胞と薄い莢膜と血管層からなる）（Hunter and Macewicz, 1985）との区別がやや困難であった．従って，日本産マイワシの排卵後濾胞は排卵（産卵）後2日まで識別可能であった．以上の結果はペルー産マイワシ（Goldberg *et al.*, 1984）の報告とほぼ同様であり，退行ステージ0はペルー産マイワシの産卵後0～6時間後（0日）に，退行ステージ1は7～30時間後（1日）に，退行ステージ2は31～53時間後（2日）の組織像にほぼ相当した．白石ら（1990）は，水温17℃において産卵後48時間目で排卵後濾胞と結合組織との明瞭な識別が困難になると報告している．今回の採集点付近の水深50mの水温は17.5℃とやや高かったが，前述のように，産卵後2日まで濾胞の識別は充分可能であった．

排卵後濾胞以外の卵巣組織像から以下の観察結果が得られた．吸水段階に達する前の卵巣卵のうち，最も発育の進んだ卵は核移動期の初期に達していた（Fig. 3I）．北米カタクチイワシ *Engraulis mordax*（Hunter and Macewicz, 1985）やマサバ（Dickerson *et al.*, 1992）の例から，これらの卵は恐らく翌日の前夜半（伊東ら，1954；松浦，1992；森本，1993）に産卵されるものと考えられた．また，産卵後に一部の吸水卵やあるいはやや発育の遅れた卵が残留卵として残り，濾胞の肥厚した顆粒細胞に再吸収される像（α段階の閉鎖濾胞）（Hunter and Macewicz, 1985）が認められた．Fig. 3J は排卵後1日の濾胞と残留卵の再吸収像が観察された例で，少なくとも2回の産卵を経ている可能性が高い．一方，核移動期の卵を持ち，GSI が高く，再吸収像やβ段階の閉鎖濾胞が全く認められない個体は初めて産卵するものと考えられた．また，一部には発達した卵巣卵の大部分が退行変性（再吸収）したものも見出された（Fig. 3K）．このような退行変性卵巣は村山ら（1990）や青木・村山（1991）でも報告されている．これらの卵巣を持つ個体は何らかの原因で産卵に失敗したものと思われるが，GSI は4.0，6.9，7.9，8.7と比較的高く（Fig. 4A, B），次の産卵を行う可能性は否定できない．Fig. 3L は既に産卵を

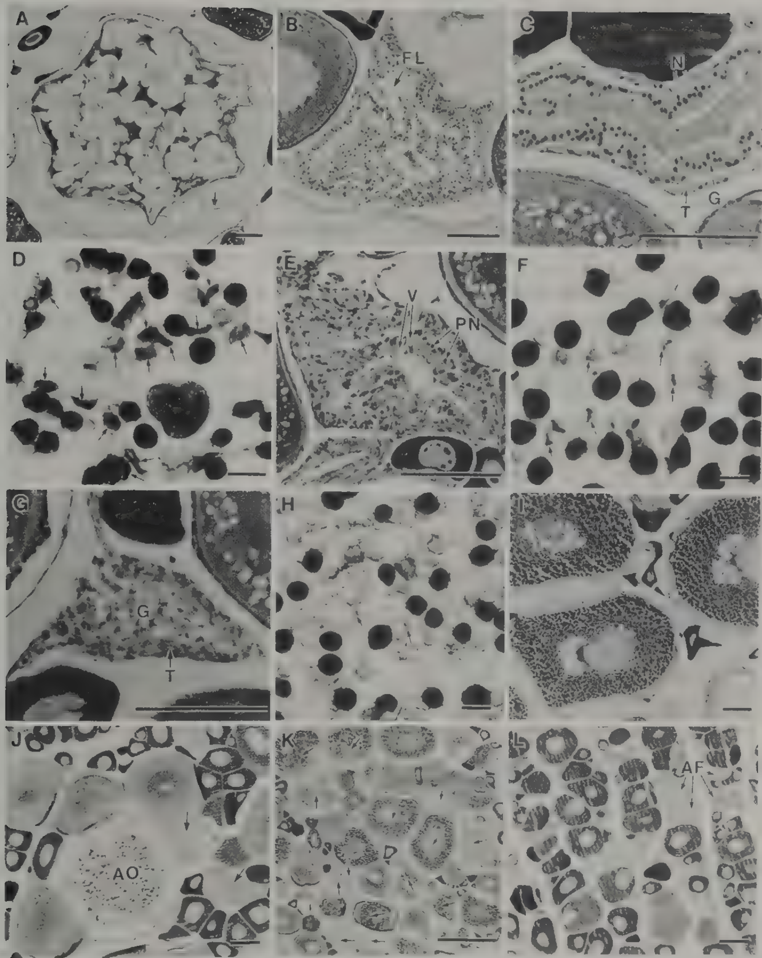


Fig. 3. Photomicrographs of oocytes and postovulatory follicles of the Japanese sardines. A: hydrated oocyte and thin ovarian follicle (arrow). B: postovulatory follicle (POF) immediately after ovulation. C: POF at regressing stage 0 with no degeneration of granulosa cells. D: POF (arrows) at regressing stage 0 and remaining oocytes observed by stereomicroscope. E: POF at regressing stage 1 with adisordered arrangement of granulosa cells and pycnotic nuclei. F: POF (arrows) at regressing stage 1 observed by stereomicroscope. G: POF at regressing stage 2 with marked degeneration of granulosa cells. H: POF (arrows) at regressing stage 2 observed by stereomicroscope. I: oocytes at the migratory nucleus stage. J: atretic oocyte not spawned and POF (arrows) at regressing stage 1. K: many atretic oocytes (arrows) in an ovary indicating unsuccessful spawning. L: postspawning stage consisting of immature oocytes and atretic follicles. AF, atretic follicle; AO, atretic oocyte; FL, follicular lumen; G, granulosa cell; N, nucleus of the granulosa cell; PN, pycnotic nucleus; T, thecal cell; V, vesicle. Scales indicate 0.1 mm (A, B, C, E, G, I, J, L) and 0.5 mm (D, F, H, K).

終了した卵巣で，多くの α～δ 段階の閉鎖濾胞 (Hunter and Macewicz, 1985) と未成熟卵が認められた．

Fig. 4A は3月13日採集の45個体について，卵巣のステージ区分と GSI の関係を示したものである．A は退行変性卵巣，－1 は核移動期（産卵前日），H は産卵直前の吸水卵，0 は産卵後0日の濾胞を持つもの，＋1 および＋2 はそれぞれ産卵後1日および2日の濾胞を持つもの，Ot はその他，P は産卵終了個体を示している．この群は吸水卵を持つものが GSI 10.9の1個体のみであるのに対し，産卵後0日の濾胞を持つもの（GSI 1.6～4.2）が10個体と多く認められ，当日は産卵が早い時間帯に行われたと思われる．また，産卵前日のもの（GSI 4.5～8.0）は3個体と少なく，産卵後1日の濾胞を持つ個体の GSI は1.8～5.2，産卵後2日の濾胞を持つ個体では1.6～3.3，その他の個体では1.9～3.0と低い値を示した．産卵を終了した5個体の GSI は0.8～1.6であった．従って，この群は全体として産卵がかなり進行し，終了に向かっていることが伺えた．Fig. 4B は3月14日採集の60個体について同様の関係を示したものである．産卵前日のものは15個体と多く，GSI の範囲は4.8～11.2と広かった．吸水卵を持つものは7個体で，GSI は7.2～23.4と広範囲に及んだ．産卵直後の濾胞を持つもの（GSI 3.4～7.3）は3個体と少なく，この採集時点の後に産卵を行う個体が多かったと思われる．産卵後2日の濾胞を持つ個体の GSI は1.9～8.4，その他の個体では1.7～6.2と，比較的高い GSI を持つものが含まれていた．このように各ステージで GSI の幅が広いのは，初回産卵のものから2回目あるいはそれ以上の個体が混在

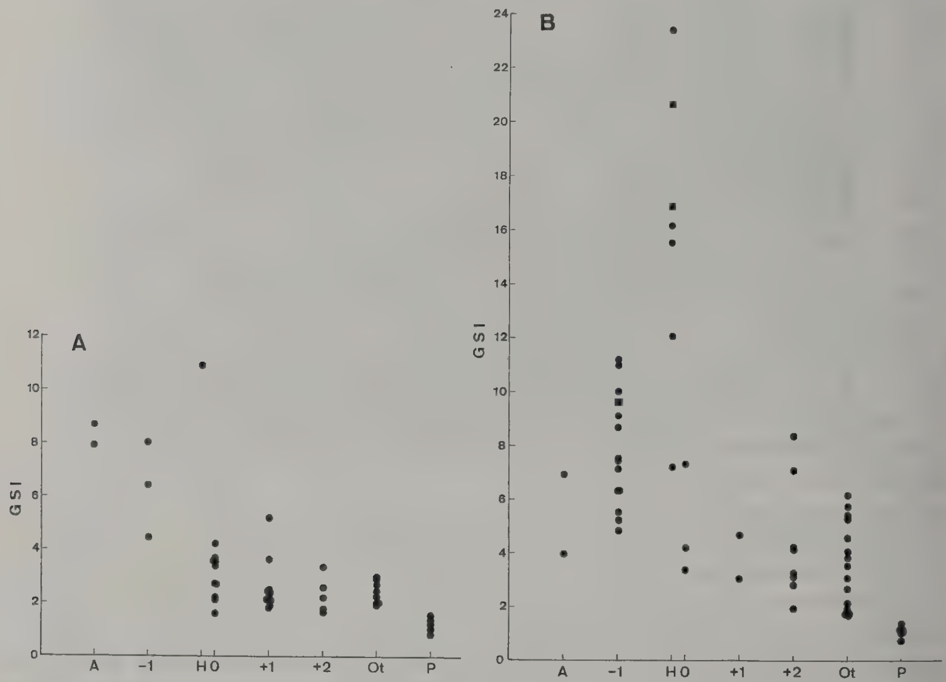


Fig. 4. Relationship between GSI and gonad stages estimated by ovarian histology of the female Japanese sardines. A: sardines collected on March 13, 1993. B: sardines collected on March 14, 1993. A, atretic gonad; H, hydrated oocyte; −1, one day before spawning; 0, immediately after spawning; Ot, others; P, postspawning; +1, one day after spawning; +2, two days after spawning.

していたためではないかと考えられる．産卵を終了した 6 個体の GSI は0.8～1.4であった．また，4 月に採集されたものは全て産卵終了個体で，GSI は0.7～1.6であった．

Table 1 は，各産卵日の産卵個体の割合から産卵周期を推定した例である．産卵後 0 日の個体は，吸水卵を持つものと産卵当日の排卵後濾胞を持つものを合計した値である．3 月13日には45個体中11個体が産卵後 0 日で，11/45の逆数である4.1がこの群の平均的産卵周期（日数）の 1 例ということになる．産卵後 1 日の濾胞を持つ個体から推定した場合も同じ値を示した．しかし，産卵前日と産卵後 2 日の個体から推定した場合には，それぞれ15.0日および9.0日と高い値を示した．3 月14日には60個体中10個体が産卵後 0 日で，産卵周期は6.0日となった．産卵前日と産卵後 2 日の個体から推定した場合には，それぞれ4.0日および7.5日と近い値を示したが，産卵後 1 日の個体の場合には30.0日と非常に高い値を示した．以上のように各推定値にばらつきがあるのは，観察個体数がやや少ないことの他に，刺網採集による産卵親魚組成のばらつきあるいは産卵する個体の割合が日によりかなり異なることと関連があるのかもしれない．最後の点については，天然海域の同一地点における稚魚網の反復曳網の結果，マイワシ採集卵数が短期的に大きく異なること（松岡，1996）からもその可能性が伺える．このように各推定値の変動に関してはさらに検討する必要があるが，最も確実にかつ容易に査定される産卵後 0 日の個体から推定すると，マイワシの平均的産卵周期として 4 ～ 6 日という計算値が得られた．白石・藤井（1990）は一過性ホルモンを投与したマイワシが 8 ～ 9 日目に再び産卵を行ったことを報告している．また，松浦（1992）は午前 2 時から 5 時において約 1/3 の個体が新しい排卵後濾胞を有していたことから，産卵周期が 3 日であることを示唆している．一方，今回観察した個体の一部に，産卵後 3 日以上経過したものではないかと思われる濾胞様組織像と核移動期卵の両者を持つものが認められた．このことから，マイワシの産卵周期は少なくとも 4 日以上ではないかと考えられた．

本研究の観察の主体はマイワシの産卵期間中の一時期のものであり，供試個体数も少なかった．従って，今後産卵期全体を通して調査し，観察個体数を大幅に増やして，より正確な産卵周期を明らかにする必要がある．また，ホルモンを用いないで自然産卵させ，より天然海域に近い状態での産卵生態を実験的に明らかにする必要がある．

Table 1. Days after (and before) spawning and spawning intervals determined from ovarian histology of the Japanese sardine.

Samples on March 13, 1993	days after spawning			
	−1	0	+1	+2
No. of individuals	3	11	11	5
%	6.7	24.4	24.4	11.1
Spawning interval (days)	15.0	4.1	4.1	9.0
Samples on March 14, 1993	days after spawning			
	−1	0	+1	+2
No. of individuals	15	10	2	8
%	25.0	16 7	3.3	13.3
Spawning interval (days)	4.0	6.0	30.0	7.5

要　　約

九州西海域で採集された産卵期のマイワシの卵巣組織を観察し，排卵後濾胞の消失過程と産卵周期について検討した．供試魚は，刺網によって1993年３月13日に採集された雌45個体と同14日の60個体である．採集時刻の20時～20時30分は本種の産卵時刻の初期に相当するとされており，実際に当日産卵予定の吸水卵を持つ個体もみられた．排卵後濾胞の組織状態，特に顆粒細胞の変化から産卵当日，産卵後１日，産卵後２日の３段階のステージが明瞭に識別された．吸水卵または産卵当日の濾胞を持つ個体の割合から算出される本種の産卵周期は４～６日と推定された．

謝　　辞

本研究を行うに当たり，西海区水産研究所調査船「陽光丸」の乗組員諸氏にはマイワシ親魚の採集にご協力いただいた．また，当所資源管理部浮魚資源生態研究室長小西芳信博士には採集や測定を手伝っていただいた．ここに記して深く感謝の意を表する．

文　　献

青木一郎・村山　司　1991：薩南周辺海域におけるマイワシ産卵群の分布と成熟について．水産海洋研究，55(2)，93–104.

Dickerson, T., B. J. Macewicz and J. R. Hunter 1992: Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel *Scomber japonicus* during 1985. CalCOFI Rep., 33, 130–140.

Goldberg, S. R., V. H. Alarcon and J. Alheit 1984: Postovulatory follicle histology of the Pacific sardine, *Sardinops sagax*, from Peru. Fish. Bull., 82(2), 443–445.

Hunter, J. R. 1985: Preservation of northern anchovy in formaldehyde solution. In "An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*" (ed. by R. Lasker), 63–65, U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36.

Hunter, J. R. and B. J. Macewicz 1985: Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. In "An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*" (ed. by R. Lasker), 79–94, U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36.

石田力一・鵜川正雄・有田節子　1959：マイワシ *Sardinops melanosticta* (Temmink & Schlegel) の産卵回数について（予報）．北水研研報，(20)，139–146.

伊東祐方・渡辺和春・西村三郎・笠原昭吾　1954：能登海域におけるマイワシの産卵時刻と夜間の行動．日水研年報，(1)，1–16.

黒田一紀　1991：マイワシの初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究．中央水研研報，(3)，25–278.

松岡正信　1996：長崎港近海におけるマイワシ採集卵数の短期変動．西水研研報，(74)，63–71.

松岡正信・三谷卓美　1989：長崎港近海で採集されたマイワシ卵のふ化・飼育（予報）．西水研研報，(67)，15–22.

松岡正信・宮地邦明・加藤　修　1993：薩南海域におけるマイワシおよびカタクチイワシ卵・仔魚の垂直分布．平成５年度日本水産学会秋季大会講演要旨集，p. 107.

松岡正信・宮地邦明・加藤　修　1995：マイワシの人工受精と卵の発生．西水研研報，(73)，45–51.

松浦修平　1992：マイワシの生殖周期．浮魚資源―そ

の再生産と加入機構―. 月刊海洋, 24(5), 289-294.

Matsuura, S., M. Matsuyama, T. Otsuka, K. Takeshita, T. Mitani and N. Ogawa 1991: Histological maturity scales, maturation and spawning in Kyushu-subpopulation sardine, *Sardinops melanostictus*. In "Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment" (ed. by T. Kawasaki, S. Tanaka, Y. Toba and A. Taniguchi), 221-228, Pergamon Press, Oxford.

森本晴之 1993：土佐湾のマイワシにおける卵母細胞の吸水完了および産卵開始時刻. 日水誌, 59(1), 7-14.

村山 司・青木一郎・石井丈夫 1990：土佐湾における産卵期のマイワシ親魚の成熟状態と分布について. 水産海洋研究, 54(4), 357-363.

Murayama, T., M. Shiraishi and I. Aoki 1994: Changes in ovarian development and plasma levels of sex steroid hormones in the wild female Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) during the spawning period. J. Fish. Biol., 45(2), 235-245.

Nakai, Z. 1962: Studies of influences of environmental factors upon fertilization and development of the Japanese sardine eggs-with some reference to the number of their ova. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (9), 109-150.

白石 学・淡路雅彦・金 庚吉・池田和夫・秋山敏男・山本剛史・香川浩彦・広瀬慶二 1990：飼育下におけるマイワシの産卵と排卵濾胞について. 平成2年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, p. 70.

白石 学・藤井一則 1990：成熟制御システムによるマイワシ産卵条件の解明. 農林水産系生態秩序の解明と最適制御に関する総合研究（バイオコスモス計画）平成元年度研報, 174-175.

宇佐美修造 1964：日本産マイワシ *Sardinops melanosticta* (T. & S.) の再生産力について―I. 日本海大羽マイワシの卵径組成からみた成熟と卵数. 東海水研研報, (38), 1-30.

渡部泰輔 1983：卵数法.「水産資源の解析と評価. その手法と適用例」(石井丈夫編), 水産学シリーズ 46, 9-29, 恒星社厚生閣, 東京.

ナラワスサビノリ糸状体の超低温保存における前培養条件の検討

藤吉　栄次*・梅澤　敏*

Preculturing Conditions for Cryopreservation of Conchocelis of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis*

Eiji Fujiyoshi* and Satoshi Umezawa*

ABSTRACT

Various preculturing conditions were studied in order to improve the survival rates of conchocelis cells of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis* after freeze-thaw cycle. The preculturing conditions tested were combinations of temperature (6℃ or 18℃), period (1 or 3 days) and with or without cryoprotectant (0.5 M sorbitol, 0.9 M sorbitol or 0.5 M DMSO). The precultured cells were then treated with the cryoprotective solution containing 1.5 M DMSO and 0.5 M sorbitol, cooled at 1℃/min to −45℃ and plunged into liquid nitrogen. After the freeze-thaw cycle, the survival rates of the precultured cells were determined. It was found that preculturing cells with 0.5 M sorbitol, 0.9 M sorbitol or 0.5 M DMSO at 6℃ for 3 days and with 0.5 M sorbitol at 18℃ for 1 day improved the survival rate as much as 20% compared with the cells precultured without cryoprotectant at 18℃.

は　じ　め　に

近年，継代培養に代わるアマノリ属糸状体の保存法として，液体窒素中での超低温保存法についての研究が進められてきた（鬼頭ら，1987；藤吉ら，1993a；藤吉ら，1993b；Kuwano *et al.*, 1993；土屋，1994）。これらの研究から，適切な予備凍結条件等が明らかになり，液体窒素中で保存したのちもかなり高い生存率が得られるようになってきた（藤吉ら，1993 b；Kuwano *et al.*, 1993；土屋，1994）。しかし，同一種を同一方法で保存しても，系統の違いにより，生存率が30％以上異なる場合もあり（Kuwano *et al.* 1994），超低温保存法の実用化のためには，常に高い生存率が得られる方法を開発することが必要である。

高等植物の超低温保存では，凍結前に低温で培養すること（ハードニング）や，低濃度の凍害防御剤を加えた培養液で培養すること（前培養）が生存率の向上に有効であるとされている（菅原，1987）が，アマノ

平成9年12月19日受理（Received December 19, 1997）
西海区水産研究所業績第565号（Contribution from Seikai National Fisheries Research Institute, No. 565）
本研究の大要は平成5年度日本水産学会秋季大会において口頭発表した。
*西海区水産研究所　〒850-0951　長崎市国分町49（Seikai National Fisheries Research Institute, Kokubu-machi, Nagasaki 850-0951, Japan）

リ属の糸状体については調べられていない．本研究では，ナラワスサビノリ糸状体の液体窒素中での超低温保存において，解凍後の生存率におよぼす前培養条件の影響について検討した．

材料および方法

材料

佐賀県有明水産振興センターから分譲されたナラワスサビノリ *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis* 佐賀8号のフリー糸状体を用いた．ブレンダーで細断した糸状体を，18℃，1500lux（白色蛍光灯），14L：10Dの光周期のもとで，$ASP_{12}NTA$ 培養液を用いて，約1か月間培養して生長した直径1～3㎜のコロニーを実験に供した．

方法

前培養　前培養のために培養液に添加する凍害防御剤として，0.5Mまたは0.9Mソルビトールおよび0.5Mジメチルスルホキシド（DMSO）を用いた．凍害防御剤の添加は，糸状体を含む培養液30mℓを100mℓ容の三角フラスコに取り，これに前述の2倍の濃度となるように凍害防御剤を添加した $ASP_{12}NTA$ 培養液（100mℓあたりストレプトマイシン硫酸塩40㎎，ペニシリンGカリウム20㎎を含む）を同量（30mℓ）加えることにより行った．両液がよく混合したのち，育成時と同じ光条件のもと，1日および3日間前培養を行った．高等植物では一般的には材料の育成時と同じ温度で前培養を行うことが多いが（Uragami *et al.*, 1990），今回の実験では育成時と同じ18℃に加えて，低温でのハードニング効果を考慮し6℃でも行った．18℃での実験と6℃での実験は別個に行ったため，6℃での実験では対照として18℃無添加の条件でも行った．

凍結および解凍　前培養したのち，糸状体を含む前培養液を氷槽中のビーカーに取り，十分冷却したのち，同様に冷却した2倍量の凍害防御液（Table 1）を約10分かけて少量ずつ加えた．さらに，この溶液中より駒込ピペットで糸状体を取り出し，冷却した凍害防御液中に浸漬した．この糸状体を含む凍害防御液1.2mℓを1.8mℓ容のクライオチューブ（nunc社製）に入れ，氷槽中で30分間静置した．このチューブを，プログラムフリーザー（大陽酸素CM-3型）を用いて，1℃/分の冷却速度で0℃より－45℃まで予備凍結したのち，液体窒素中に浸漬保存した．

解凍は，1日後に40℃の温水中で振とうしながら行った．これを冷却した滅菌海水を用いて，ゆっくりと希釈洗浄したのち，生存率を調べた．生死の判定はニュートラルレッド染色（Saga, 1989）で行い，糸状体1コロニーにつき200細胞の生死を調べた．実験は2回行い，1回につき5コロニー，計10コロニーの平均により生存率を求めた．

Table 1. Contents of cryoprotective solution.

Component	Amount in liter
Dimetyl sulfoxide (DMSO)	1.5 mol
Sorbitol	0.5 mol
KCl	5×10^{-3}mol
Tris (hydroxymethyl) aminomethane	17×10^{-3}mol
$ASP_{12}NTA$	330mℓ

The pH of this solution was adjusted to 8.0.

結　　果

18℃での前培養　凍結融解後の生存率は，Table 2 に示した．0.5Mソルビトールを添加し1日間前培養を行った場合の生存率は73.1%であり，コントロール（無添加）と比べて20.0%高い生存率が得られた．しかし，3日間前培養を行った場合は，生存率は49.6%に低下した．0.9Mソルビトールおよび 0.5M DMSO を添加して前培養を行った場合の生存率は，無添加のときのそれとほぼ同程度かやや低かった．

6℃での前培養　凍結融解後の生存率は，Table 3 に示した．0.5M ソルビトールを添加し1日間前培養を行った場合の生存率は67.9%，3日間の場合は74.3%であり，無添加（18℃）と比べてそれぞれ16.4%，21.8%高い生存率が得られた．また，0.9Mソルビトールおよび 0.5M DMSO を添加して3日間前培養を行った場合も，無添加（18℃）と比べてそれぞれ19.8%，18.5%高い生存率が得られた．

Table 2. Effects of preculturing conditions at 18℃ on survival after freeze–thaw cycle.

Preculture medium*1	Preculture period (days) 1	3
	Survival rate (%±S.D.)	
Control*2	53.1±3.7	54.4±5.0
With 0.5M sorbitol	73.1±9.2*3	49.6±6.0*3
With 0.9M sorbitol	53.6±4.8	44.4±3.9*3
With 0.5M DMSO	54.9±5.7	51.0±9.4

*1 Cryoprotectants were dissolved in $ASP_{12}NTA$ medium.
*2 Precultured without cryoprotectant.
*3 Significantly different from the control (T test, $p<0.05$).

Table 3. Effects of preculturing conditions at 6℃ on survival after freeze–thaw cycle.

Preculture medium*1	Preculture period (days) 1	3
	Survival rate (%±S.D.)	
Control*2	51.5±8.6	52.5±6.0
Without cryoprotectant	57.4±8.3	57.0±6.0
With 0.5M sorbitol	67.9±5.6*3	74.3±4.1*3
With 0.9M sorbitol	51.6±5.6	72.3±3.1*3
With 0.5M DMSO	49.5±5.7	71.0±7.6*3

*1 Cryoprotectants were dissolved in $ASP_{12}NTA$ medium.
*2 Precultured at 18℃ without cryoprotectant.
*3 Significantly different from the control (T test, $p<0.05$).

考　　察

前培養が耐凍性を高める理由については，高張液で処理されることにより含水量が減少することと関連しているようであるが，高等植物においてもその機構は明らかではない（酒井，1992）．乾燥法によるアスパラガス *Asparagasu officinalis* 腋芽の超低温保存の場合は，前培養によって生じる細胞内の糖濃度の増加が，液体窒素中で急冷する前に必要な脱水操作によって生じる悪影響を緩和するためではないかと言われている（Uragami *et al.*, 1990）．高等植物では浸透的脱水を含む乾燥ストレスに対して，アブシジン酸の生合成の誘導など種々の応答機構が働くことが明らかになってきており（篠崎・篠崎，1993），アスパラガスについても複数の系が関与している可能性も考えられる．また，キャベツ *Brassica oleracea* の葉を1Mグルコース溶液中で180分間前培養した場合には，蒸留水で洗浄後にもグルコース含量の増加と前培養効果が見られることから，細胞内に浸透したグルコースが耐凍性の向上をもたらしているのではないかと考えられている（Jitsuyama *et al.*, 1997）．

広塩性の紅藻 *Caloglossa leprieurii* では，高塩分の培養液中に入れると，細胞内のマンニトール濃度が，24時間程度かけてゆっくりと増加することが知られている（Mostaert *et al.*, 1995）．同様に，ウシケノリ *Bangia atropurpurea*（Reed, 1985）やナラワスサビノリと同じアマノリ属の *Porphyra purpurea* の葉状体（Reed *et al.*, 1980）では，細胞内のフロリドシド濃度が増加することが知られている．今回実験に用いたナラワスサビノリの糸状体についても，高張液中で培養されることにより，前述の紅藻類と同様に細胞内の糖類が増加し，そのことが生存率の向上をもたらした1つの要因となっているのかも知れない．

今回，18℃の条件下では，0.5Mソルビトールを添加し1日間前培養を行った場合に，無添加と比べて20%高い生存率が得られている．しかし，同一の条件で，3日間前培養を行った場合にはむしろ生存率の低下が見られた（Table 2）．高等植物においても，同一条件での前培養期間の延長が，生存率の低下をもたらした例が知られており（Suzuki *et al.*, 1994），耐凍性の発現機構について今後の究明が望まれる．

6℃の条件下では，0.5Mソルビトールを添加し1日間前培養を行った場合に加えて，0.5M，0.9Mソルビトールや 0.5M DMSO を添加して，3日間前培養を行った場合にも高い生存率が得られている（Table 3）．この原因としては，低温により高浸透圧のおよぼす悪影響や DMSO の薬害が緩和されたことが考えられる．また，6℃では低温によるハードニング効果が期待されたが，無添加の場合の生存率は18℃と比べて大きな違いは見られなかった（Table 3）．

今回の結果から，ナラワスサビノリの糸状体の超低温保存において，適切な前培養を行うことにより，凍結融解後の生存率の向上が期待されることが明らかになった．さらに，ワカメ *Undaria pinnatifida* 雌性配偶体についても前培養の効果が見られており（藤吉未発表），他の海藻類にもその効果が期待される．

謝　　辞

本研究に際し，有益なご助言をいただいた北海道大学名誉教授酒井昭博士並びに本報をまとめるにあたりご協力いただいた国際農林水産業開発センター主任研究官マーシー・ワイルダー博士に深く感謝します．

文　　献

藤吉栄次・山崎　誠・鬼頭　鈞　1993a：ナラワスサビノリ糸状体の超低温保存．水産増殖，41(1)，85–87.

藤吉栄次・山崎　誠・梅澤　敏・鬼頭　鈞　1993b：ナラワスサビノリ糸状体の超低温保存における予備凍結条件の検討．水産増殖，41(4)，547–551.

Jitsuyama, Y., T. Suzuki, T. Harada and S. Fujikawa 1997: Ultrastructural study on mecha-

nism of increased freezing tolerance due to extracelluar glucose in cabbage leaf cells. Cryo-Letters, 18, 33–44.

鬼頭　鈞・山崎　誠・井上清和　1987：アマノリ組織の超低温保存．昭和62年度日本水産学会秋季大会講演要旨集，p157.

Kuwano, K., Y. Aruga and N. Saga　1993 : Cryopreservation of the conchocelis of the marine alga *Porphyra yezoensis* Ueda (Rhodophyta) in liquid nitrogen. Plant Science, 94, 215–225.

Kuwano, K., Y. Aruga and N. Saga　1994 : Cryopreservation of the conchocelis of *Porphyra* (Rhodophyta) by applying a simple prefreezing system. J. Phycol, 30, 566–570.

Mostaert, A. S., U. Karsten and R. J. King　1995 : Inorganic ions and mannitol in the red alga *Caloglossa leprieurii* (Ceramiales, Rhodophyta) : response to salinity change. Phycologia, 34(6), 501–507.

Reed, R. H. 1985 : Osmoacclimation in *Bangia atropurpurea* (Rhodophyta, Bangiales) : the osmotic role of floridoside. Br. Phycol. J., 20, 211–218.

Reed, R. H., J. C. Collins and G. Russel 1980 : The effects of salinity upon galactosyl-glycerol content and concentration of the marine red alga *Porphyra purpurea* (Roth) C. Ag. J. Exp. Bot., 31(125), 1539–1554.

Saga, N. 1989 : Futher study on determining cell viability in marine red and brown algae by using staining dyes. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 53, 43–53.

酒井　昭　1992：植物培養細胞・組織・胚の超低温保存．化学と生物，30(7)，441–448.

篠崎和子・篠崎一雄　1993：植物遺伝子の乾燥応答と発現調節．化学と生物，31(7)，457–463.

菅原康剛　1987：細胞・組織の凍結保存における問題点．「凍結保存」(酒井昭編)，pp170–175，朝倉書店．

Suzuki, M., T. Niino and T. Akihama　1994, Cryopreservation of shoot tips kiwifruit seedlings by the alginate encapsulation-dehydration technique. Plant Tissue Culture Letters, 11(2), 122–128.

土屋　仁　1994：ノリのフリーリビング糸状体の凍結保存について－Ⅲ．千葉水試研報，52，27–30.

Uragami A., A. Sakai and M. Nagai　1990 : Cryopreservation of dried axillary buds from plantlets of *Asparagus officinalis* L. grown in vitro. Plant Cell Reports, 9, 328–331.

ナラワスサビノリ葉状体から分離したプロトプラストの超低温保存

藤吉　栄次*・山崎　　誠**・小林　正裕***
梅澤　　敏*・鬼頭　　鈞****

Cryopreservation of Protoplasts Isolated from Thalli of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis*

Eiji Fujiyoshi*, Makoto Yamasaki**, Masahiro Kobayashi***,
Satoshi Umezawa* and Hitoshi Kito****

ABSTRACT

In order to develop a method for long-term storage, protoplasts isolated from thalli of *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis* were frozen using a two-step procedure with an initial slow cooling rate (1℃/min) to −40℃ followed by a rapid cooling rate when samples were plunged into liquid nitrogen. The addition of 0.7 M mannitol as a cryoprotectant and prefreezing treatment were necessary for successful cryopreservation. About 70% of the protoplasts were alive after the freeze-thaw cycle using this method.

は　じ　め　に

アマノリの葉状体から分離されたプロトプラストは，そのまま種苗として利用できる（川村・青戸，1995）ほか，細胞融合や変異体の作出のための育種素材（石元ら，1992；阿知波・中嶋，1995；藤田・金，1995；岩渕，1995；増田ら，1995）や DNA を抽出するための材料（岡内・水上，1995）等に利用されている．しかし，アマノリのプロトプラストを用いた研究を行うためには，実験のたびにプロトプラストの分離操作が必要であり，それに要する多大の労力と時間は研究の大きな障害となっている．

保存法の開発は，あらかじめ分離したプロトプラストを，必要な時に必要な量だけ使用することが可能になるため，分離操作に要する負担を軽減する有効な方法である．しかし、アマノリのプロトプラストについ

平成9年5月6日受理（Received May 6, 1997）
西海区水産研究所業績第547号（Contribution from Seikai National Fisheries Reserch Institute, No. 547）
*西海区水産研究所　〒850-0951 長崎市国分町49（Seikai National Fisheries Research Institute, Kokubu machi, Nagasaki 850-0951, Japan）
**東北区水産研究所　〒985-0001 塩釜市新浜町3-27-5（Tohoku National Fisheries Research Institute, Sinhama-cho, Siogama 985-0001, Japan）
***西海区水産研究所石垣支所　〒907-0451 沖縄県石垣市字桴海大田148-446（Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Reserch Institute, 148-446 Fukai-Ohta, Ishigaki 907-0451, Japan）
****水産大学校　〒759-6533 下関市永田本町2-7-1（Shimonoseki University of Fisheries, Nagata-honmachi, Shimonoseki 759-6533, Japan）

ての保存研究は，ディープフリーザーを用いて低温保存を行った例が，ごくわずか報告されているだけである（石元ら，1990；1991）．この方法では，結果がもっとも良好であった－25℃での保存においても，30日間の保存が限界であった（石元ら，1991）．そこで，著者らはアマノリ葉状体プロトプラストの長期保存法の開発を目標として，さらに低温の液体窒素（－196℃）中での超低温保存を試みたので，その結果を報告する．

材料および方法

材料　プロトプラスト分離用の葉状体は，佐賀県有明水産振興センターから分譲されたナラワスサビノリ *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis* 佐賀5号の葉状体（冷凍網）を用いた．プロトプラストの分離は，パパイン液と細菌由来の粗酵素液を用いた常法（Mizukami *et al.*, 1992）に従い行った．殻胞子も同じく佐賀5号のカキ殻糸状体より放出されたものを用いた．

凍害防御剤　凍害防御剤としてマンニトール，ソルビトールおよびトレハロース（いずれも0.7M）を用いてプロトプラストを凍結保存した予備実験では，マンニトールを用いた場合に最も良好な結果が得られた．そこで本実験では，マンニトールを凍害防御剤に用いた．

方法　分離したプロトプラストは，氷槽中で冷却した滅菌海水または0.7Mのマンニトールを含む海水にけん濁させたのち，1.8 ml 容のクライオチューブ（Nunc）に1.2mlずつ分注した．これをプログラムフリーザー（大陽酸素 CM-3 型）を用いて，1℃／分の冷却速度で－40℃まで予備凍結したのち，液体窒素中に浸漬保存した．また，一部は予備凍結の効果を調べるために，予備凍結せずに直接液体窒素中に浸漬した．殻胞子については，海水中での低温保存のみ行い比較した．解凍は，1日後に40℃の温水中で振とうしながら行った．

生存細胞数を凍結の前後に測定した．生死の判別は，光学顕微鏡下で，色素体が明瞭なものを生存細胞と判定した．生死細胞数の比率による生存率ではなく生存細胞数を測定したのは，凍結融解によって生じた死細胞のうち30％程度が破裂により確認できなくなることが，予備実験より明らかになったからである．

次に，凍結融解操作がプロトプラストの再生に与える影響を調べるために培養実験を行った．材料には未凍結のものおよび予備凍結を行ったのちに液体窒素中で保存したものを用いた．プロトプラストの凍結および解凍は，0.7Mのマンニトールを添加して，上記の条件で行った．解凍したプロトプラストは3％アルギン酸ナトリウム溶液（3％塩化ナトリウムを含む）にけん濁（生存細胞密度500細胞／ml）させたのち，0.1Mの塩化カルシウムを含む海水中に滴下することにより，直径約4 mmの球状にビーズ化した．このプロトプラストを含むビーズを，SWMⅢ改変培養液（鬼頭，1985）を用いて，17℃，4000lux（白色蛍光灯），10L：14D の光周期のもとで通気培養した．

7日後，15ビーズについて直径を測定したのち押しつぶしてから，光学顕微鏡を用いて再生個体数を調べた．2細胞以上に分裂しているものを再生個体とした．未分裂のものについては観察が困難であったため除外した．この再生個体数とビーズ直径および培養開始時の生存細胞密度（500細胞／ml）にもとづき再生率を推定した．

結　果

マンニトールの添加および予備凍結が凍結融解後の生存細胞数に与える影響を調べた結果を Table 1 に示した．プロトプラストを予備凍結したのち液体窒素中に浸漬した場合，海水では解凍後にはほとんどの細胞が死亡していたが，マンニトール海水では凍結前と比べて70％以上の細胞の生存が見られた（Fig. 1）．海水中の殻胞子を同様に凍結融解した場合は，凍結前と比べて半数近い細胞が生存していた．プロトプラストでは，－40℃まで予備凍結を行ったのち，液体窒素中に浸漬することなくそのまま解凍した場合も，ほぼ同様の結果であった．凍結融解後の生存プロトプラスト数の減少は，おもに予備凍結中に生じたものと思われる．予備凍結することなく液体窒素中に浸漬した場合は，プロトプラストと殻胞子のどちらもすべての細胞

Table 1. Number of live cells of protoplasts and conchospores from *Porphyra yezoensis* form. *narawaensis* after low temperature exposure.

	Number of live cells ($\times 10^5$ cells/ml ± S. D.)			
	Control	0℃, LN_2 *1	−40℃ *2	−40℃, LN_2 *3
Protoplasts				
Seawater	3.2±0.4	0	0.1±0.0	0.1±0.0
Seawater+0.7M mannitol	3.3±0.3	0	2.6±0.1	2.4±0.2
Conchospores				
Seawater	2.4±0.1	0	—	1.1±0.2

*1 Without prefreezing, plunged into liquid nitrogen, held 1 day, and then rapidly thawed.
*2 Cooled at 1℃/min to −40℃ and then rapidly thawed.
*3 Cooled at 1℃/min to −40℃, plunged into liquid nitrogen, held 1 day, and then rapidly thawed.



Fig. 1. Protoplasts after 1 day of cryopreservation in liquid nitrogen. Bar, 10 μm.

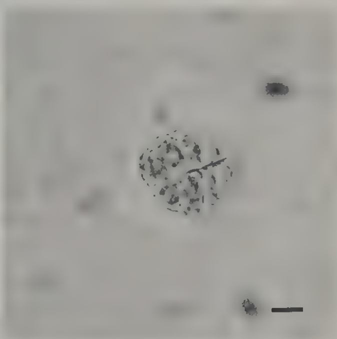


Fig. 2. Callus-like cells regenerated from a cryopreserved protoplast after 7 days in culture. Bar, 10 μm.

が死亡していた．以上の結果，プロトプラストを生存した状態で液体窒素中に保存するためには，マンニトールの添加と予備凍結が必要なことがわかった．

凍結融解が再生率に与える影響について調べた結果，生存細胞の再生率（培養期間7日間）は，凍結融解後のプロトプラストで28%，未凍結のプロトプラストでは19%であった．ビーズあたりの再生個体数は，0～11個体とばらつきが大きかった．再生形態は，カルス状のもの（Fig. 2）およびそれが単胞子化したものがほとんどであった．凍結融解後のプロトプラストについて，さらに培養を続けると，54日後には25cm程度の葉状体に生長した（Fig. 3）．



Fig. 3. Thalli originating from cryopreserved protoplasts after 54 days in culture. Bar, 1 cm.

考　　　察

冬季の潮間帯に生息するアマノリの葉状体は，強い耐凍性を持つことが知られており，適切な予備凍結と解凍を行えば，凍害防御剤を添加しなくてもかなり高い生存率が得られている（Sakai and Sugawara, 1978；Kuwano *et al.*, 1996）．Kuwano *et al.*（1996）の結果では，スサビノリの葉状体を著者らと同様に毎分1℃の冷却速度で−40℃まで予備凍結したのち，液体窒素中に浸漬保存した場合，凍害防御剤を添加しなくても解凍後に30％程度の生存率が得られている．今回の実験では，プロトプラストではほとんどの細胞が死亡していたにも関わらず，粘液質におおわれている殻胞子では半数近い細胞が生存していたことから（Table 1），細胞膜の露出が耐凍性の低下につながったのではないかと思われる．したがって，マンニトールは細胞膜を保護し生存率の向上をもたらしたと考えられる．

凍結融解後のプロトプラストの再生については，再生率が低く，ばらつきも大きかったためはっきりしたことは言えないが，再生率が未凍結のものを下回らなかったことおよび最終的には葉状体に生長したこと（Fig. 3）から，液体窒素中の保存がプロトプラストの再生に対して大きな悪影響を与えない可能性が示唆された．

今回の結果から，マンニトールを添加したのち予備凍結を行えば，液体窒素中の保存が可能であることがわかった．長期保存についての正確な実験は行ってい

ないが，ほぼ同じ方法を用いて7年間液体窒素中で保存した場合，解凍後の生死細胞の比率より求めた見かけ上の生存率は56%であった（山崎ら，未発表）．この値は前述の理由によりやや過大なものと思われるが，長期保存の面から見ても有望な方法であることを示している．今後は，予備凍結法の改良を中心として生存率の向上法を検討するとともに，再生や長期保存の影響について精査することが必要である．

謝辞

本研究に際し，佐賀県有明水産振興センターの皆さまには，冷凍網の分譲に際し特段の御配慮をいただいた．また，本報をまとめるにあたり，国際農林水産業開発センターのマーシー・ワイルダー博士に御協力をいただいた．以上の皆さまに深く感謝します．

文献

阿知波英明・中嶋康生　1995：マルバアマノリとカイガラアマノリのプロトプラストの電気融合法による種間雑種の作出．藻類，43, 223–226.

藤田雄二・金　梵奎　1995：単離体細胞・融合細胞の応用への展望．月刊海洋，27(11)，649–655.

石元伸一・阿知波英明・藤崎洸右　1990：ノリのプロトプラスト等の保存方法の検討．平成元年度地域バイオテクノロジー研究開発促進事業報告書，pp. 21–23，愛知県水産試験場．

石元伸一・伏屋　満・石田俊郎・藤崎洸右　1991：プロトプラストの保存方法の検討．平成2年度地域バイオテクノロジー研究開発促進事業報告書，pp. 10–15，愛知県水産試験場．

石元伸一・石田俊郎・伏屋　満・藤崎洸右　1992：平成3年度地域バイオテクノロジー実用化技術研究開発促進事業報告書，53pp.，愛知県水産試験場．

岩渕光伸　1995：体細胞変異の利用によるストレス耐性株の作出．月刊海洋，27(11)，666–670.

川村嘉応・青戸　泉　1995：プロトプラストの培養およびその種苗化への応用．月刊海洋，27(11)，661–665.

鬼頭　鈞　1985：ノリのプロトプラストの作出と個体の再生．農林水産研究技術ジャーナル，8(9)，20–24.

Kuwano, K., Y. Aruga and N. Saga. 1996: Cryopreservation of clonal gametophytic thalli of *Porphyra* (Rhodophyta). Plant Science. 116, 117–124.

増田恵一・水田　章・谷田圭亮　1995：ノリ葉体プロトプラストを用いた選抜育種．月刊海洋，27(11)，655–660.

Mizukami, Y., M. Okauchi and H. Kito 1992: Effects of cell wall-lytic enzymes on the electrofusion efficiency of protoplasts from *Porphyra yezoensis*. Aquaculture, 108, 193–205.

岡内正典・水上　譲　1995：遺伝子研究の現状と応用への展望．月刊海洋，27(11)，683–692.

Sakai, A. and Sugawara, Y. 1978: Survival of plant germplasm in liquid nitrogen. *in* "Plant Cold Hardiness and Freezing Stress-Mechanisms and Crop Implications" (P. H. Li and A. Sakai eds.), pp. 345–359, Academic Press, New York.

非　売　品

平成９年12月　発行

水産庁西海区水産研究所
〒850-0951　長崎市国分町49

印刷人　松　尾　隆一郎
印刷所　株式会社 リューブン
佐世保市柚木元町2673-1
電話（0956）㊶6000

CONTENTS

(In Japanese with English abstract except* in English)

SEIKAI NATIONAL FISHERIES RESEARCH INSTITUTE

49 KOKUBU-MACHI, NAGASAKI 850-0951

JAPAN